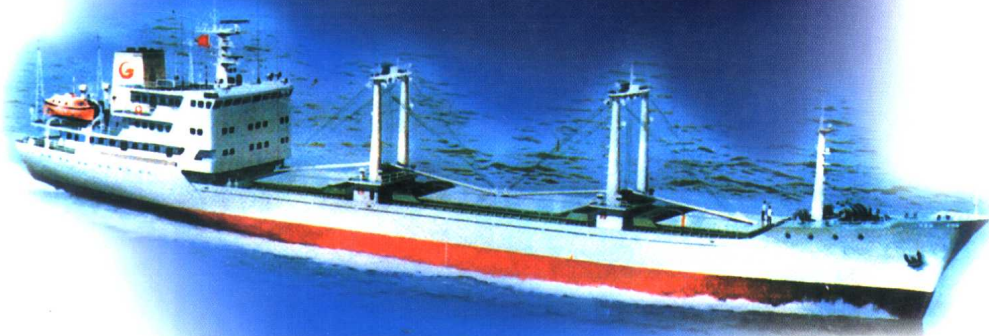


陈冰泉 主编
王承权 姜剑宁 杜学铭 副主编
李志远 主审

CHUANBO JI HAIYANG GONGCHENG JIEGOU HANJIE

船舶及海洋工程 结构焊接



人民交通出版社

船舶及海洋工程结构焊接

Chuanbo Ji Haiyang Gongcheng Jiegou Hanjie

陈冰泉 主 编

王承权 姜剑宇 杜学铭 副主编

李志远 主 审

人 民 交 通 出 版 社

内 容 简 介

本书主要介绍了电弧焊的基本原理;造船生产中常用的手工电弧焊、自动埋弧焊、CO₂ 气体保护电弧焊、氩弧焊、电渣焊及水下焊接等方法的焊接工艺、焊接材料及焊接设备;金属材料切割的方法、工艺及设备;船舶及海洋工程常用金属材料的焊接;焊接应力与变形;焊接接头的强度以及焊接质量检验等内容。

本书可作为高等院校船舶及海洋工程专业的教材,可作为高等院校材料成形与控制专业的参考教材,也可供从事船舶焊接、材料加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶及海洋工程结构焊接/陈冰泉主编. —北京:
人民交通出版社, 2001.2
ISBN 7-114-03868-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 03983 号

船舶及海洋工程结构焊接

陈冰泉 主 编
王承权 姜剑宁 杜学铭 副主编
李志远 主 审

正文设计: 王秋红 责任校对: 宿秀英 责任印制: 张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.5 字数: 333 千

2001 年 7 月 第 1 版

2001 年 7 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—2500 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-114-03868-2

U · 02801

前 言

本书以船舶、海洋工程结构建造过程中常用的电弧焊方法为主,介绍了电弧焊的基本原理;介绍了手工电弧焊、自动埋弧焊、 CO_2 气体保护电弧焊、氩弧焊、电渣焊及水下焊接等方法的焊接工艺、焊接材料及焊接设备;金属材料切割的方法、工艺及设备;船舶及海洋工程常用金属材料的焊接;焊接应力与变形;焊接接头的强度以及焊接质量检验等内容。

本书的编写既注重基本理论的讲述,又兼顾内容的实用性和新颖性,力求理论联系实际。本书尽可能引用新近发布的标准和规范,适当反映与焊接有关的新技术、新材料、新发展。全书收录了大量经验数据、插图、标准及参考资料。

本书大约需要 45 学时讲授。可作为船舶工程专业的专业基础课教材,也可作为材料类或机械类专业的专业课或专业选修课的教材。

本书由武汉交通科技大学机械及材料工程学院陈冰泉老师任主编。第一、五、八章由陈冰泉老师编写;第二章由姜剑宁老师编写;第三、四章由杜学铭老师编写;第六、七章由王承权老师编写;最后由陈冰泉老师统稿。本书由华中理工大学的李志远老师审稿,并提出许多宝贵的意见和建议,特在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书中难免出现错误和不足,恳切地希望读者在使用过程中给予批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
参考文献	5
第二章 熔焊基本原理	6
§ 2-1 焊接电弧	6
§ 2-2 焊接热过程	11
§ 2-3 焊接冶金	14
§ 2-4 焊接裂纹	20
§ 2-5 焊接接头的金相组织和机械性能	28
§ 2-6 焊缝及焊接接头的形式和特点	31
参考文献	38
第三章 船舶及海洋工程结构常用焊接方法及工艺	39
§ 3-1 电弧焊母材熔化和焊缝成形	39
§ 3-2 手工电弧焊	45
§ 3-3 自动埋弧焊	66
§ 3-4 CO ₂ 气体保护电弧焊	77
§ 3-5 熔化极氩弧焊	85
§ 3-6 钨极氩弧焊	89
§ 3-7 电渣焊	92
§ 3-8 水下焊接	98
附录	100
参考文献	104
第四章 金属的切割	105
§ 4-1 氧气的切割	105
§ 4-2 等离子弧切割	109
§ 4-3 碳弧气刨	113
§ 4-4 水下切割	114
§ 4-5 水射流切割	116
第五章 船舶及海洋工程常用金属材料的焊接	119
§ 5-1 金属的焊接性	119
§ 5-2 低合金结构钢的焊接	122
§ 5-3 低温韧性钢的焊接	133
§ 5-4 铝和铝合金的焊接	137
§ 5-5 奥氏体不锈钢的焊接	141

§ 5-6 复合钢的焊接	143
附录	147
参考文献	149
第六章 焊接变形及应力	150
§ 6-1 基本概念	150
§ 6-2 焊接变形	157
§ 6-3 焊接应力	164
§ 6-4 船体典型结构的焊接程序	170
参考文献	172
第七章 焊接接头的强度	173
§ 7-1 概述	173
§ 7-2 焊接结构的脆性断裂	176
§ 7-3 焊接结构的疲劳强度	182
§ 7-4 焊接接头的抗腐蚀性能	186
参考文献	188
第八章 焊接质量检验	189
§ 8-1 概论	189
§ 8-2 焊接接头中常见缺陷	191
§ 8-3 焊接工艺认可试验	195
§ 8-4 焊缝质量外观检验	197
§ 8-5 焊缝及接头质量的无损检验	198
§ 8-6 密性试验	203
§ 8-7 破坏性检验	204
附录 焊接检验标准名录	207
参考文献	208

第一章 绪 论

焊接是一种重要的材料加工工艺,它广泛应用于现代工业的各个部门,特别是在金属结构制造方面。在船舶和海洋工程结构建造中,焊接的重要性尤为突出。

由于焊接技术具有一系列技术上和经济上的优越性,所以发展很迅速。从 20 世纪 30 年代起焊接就逐步代替了过去船舶业中的主要连接手段——铆接。这一变革对造船业产生的深远影响,可与 19 世纪中叶造船用的材料由木材转变成钢铁相提并论,因此造船工艺由铆接变为焊接被认为是造船史上的第二次革命。

在现代造船业中,焊接已成为连接船体结构和金属构件的主要方法,是海洋工程结构和船舶建造的关键工艺之一,并直接影响船舶及海洋工程的质量和建造周期。

一、焊接方法的实质及分类

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加工方法(GB3375—94)。

根据焊接过程的特点,可将焊接方法分为三大类:熔焊、压焊和钎焊。

1. 熔焊 将待焊处的母材金属熔化,但不加压以形成焊缝的焊接方法称为熔焊。根据所用能源不同,可以分为电弧焊、电渣焊、等离子弧焊、电子束焊、激光焊、热剂焊等。

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。压焊包括电阻焊、摩擦焊、扩散焊、爆炸焊、超声波焊、冷压焊、气压焊、热压焊、锻焊等。

3. 钎焊 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,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。根据使用钎料熔点的不同,可分为硬钎焊和软钎焊两类。根据熔化钎料时所采用的热源不同又可分为若干种钎焊。

焊接方法分类见图 1-1^①。

若将焊接方法细分类,总共可超过 150 种。仅造船行业采用的焊接方法就有几十种。然而尽管焊接方法种类繁多,它们区别于其他连接方法(如铆接、栓接、键连接、销连接等)的共同特点是:在连接处,不仅宏观上形成了永久性的接头,而且在微观也建立了联系。如在熔焊和压焊中,两结合面间形成了共同的晶粒和连续的组织;在钎焊中,填充金属和母材之间发生了相互扩散,在微观实现了金属键和其他化合键的连接。

二、焊接船体结构的特点

和铆接船相比,焊接船有一系列的优越性,但焊接船体结构又有一些需要注意的特点。正

^① 为了与焊接科学技术的发展相适应,在《焊接术语》(GB3375—94)和 1996 年出版由中国机械工程学会焊接学会编写的《焊接词典》中对某些焊接术语进行了修改,给出了新的含义和解释。如对自动焊的定义和解释是“用自动焊接装置完成全部操作的焊接方法。例如采用数字程序控制系统、模拟控制系统、适应控制系统或机器人系统,使焊接过程全部自动进行的焊接。”因而,原称自动埋弧焊,现称埋弧焊;原称半自动埋弧焊,现称手工埋弧焊;原称手工电弧焊,现称焊条电弧焊;取消了半自动焊的提法;扩大了手工焊的范围。
由于历史和习惯的原因,在本书中仍将用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊接方法称为手工电弧焊,将小车自动沿坡口行走、自动送丝的埋弧焊称为自动埋弧焊。

确认识这些特点并采取合理的措施是保证船体结构质量和安全的关键之一。

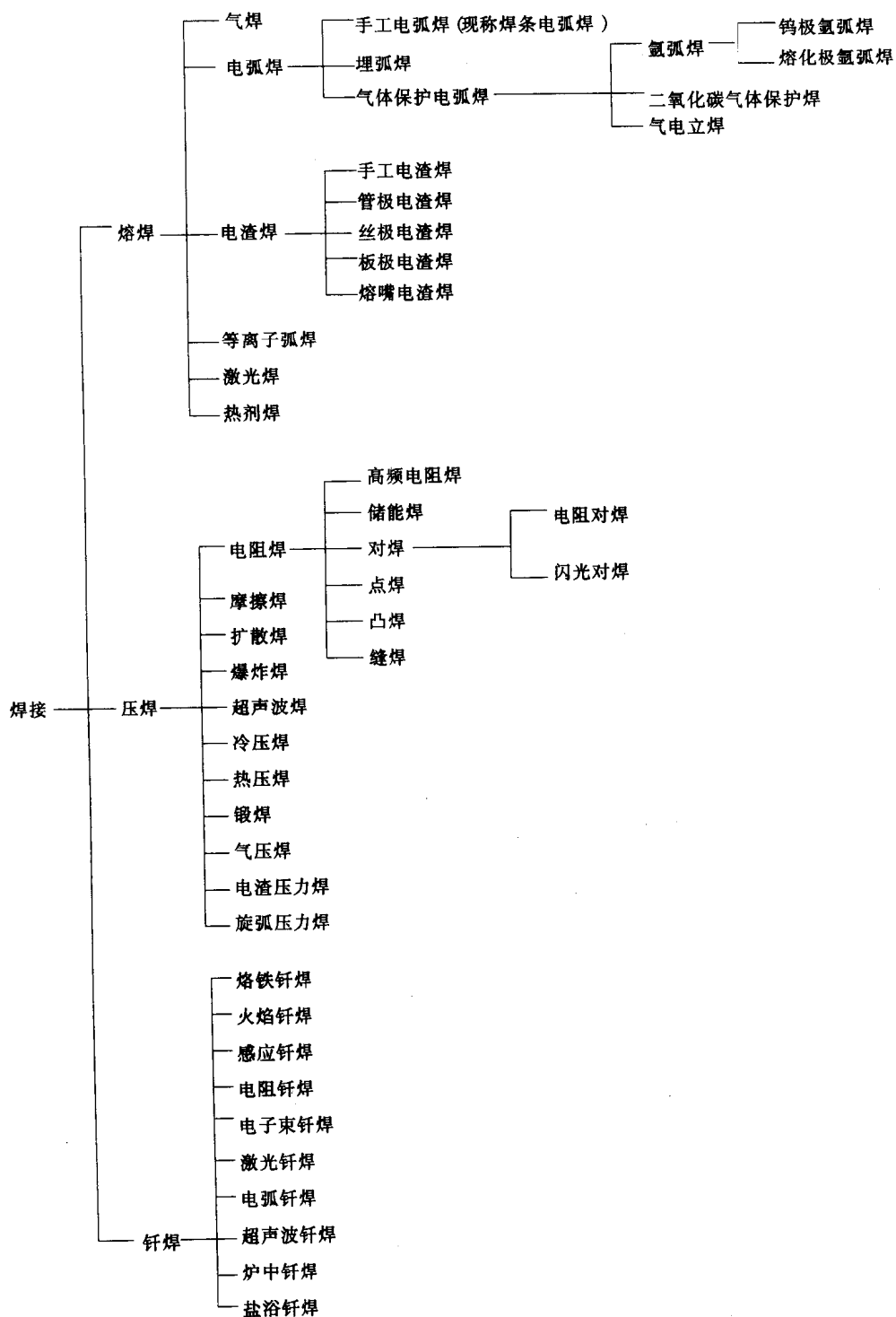


图 1-1 焊接方法分类

(一)焊接船体的优越性

1. 重量轻,省材料,成本低

焊接结构中熔敷金属约占构件重量的 1% ~ 1.5%。而在铆接结构中仅铆钉的重量就占构件重量的 3.5% ~ 4%，再加上接头处的重叠板条，使同样排水量的焊接船比铆接船减轻重量约 20%，因而提高了载重量。焊接船减少了材料用量，省去了用来加工铆钉、搭接垫板和钻孔的人力、物力和时间，使成本大大降低。

2. 结构合理,强度高

焊接船体可根据设计需要制成不同的线型,外形连续光滑。而铆接船在接头处不连续,会产生较大的应力集中。焊接接头致密、连续,其强度一般与母材相等甚至稍微高一点。而铆接接头仅靠铆钉传递载荷,同时铆接接头在使用过程中易产生腐蚀和接头松动,降低连接强度和密性。因而焊接船体结构强度比铆接船高,且结构更为合理。

3. 不渗透性好

焊接接头中焊缝与母材形成一个整体,有可靠的不渗透性,可保证贮存液体或气体的船舶不会发生泄漏,特别是当船体一旦因碰撞或过载而发生塑性变形时,焊接接头一般仍能保持不会渗漏。而铆接接头由于发生铆接缝崩裂,会很快进水。

4. 生产效率高

焊接船体可采用分段建造、预舾装、以及区域建造等先进工艺,使船体焊接装配工作量的 60% ~ 70% 在车间进行。分段建好后在船台合拢,车间又开始第二条船的建造,大大缩短了船舶的建造周期。同时,各种高效焊接技术如气体保护焊、埋弧焊、电渣焊、下行焊、重力焊、铁粉焊条高效焊等的应用使生产效率大大提高。

(二)焊接结构的特点

焊接结构与铆接结构相比除了上述优点外,本身还具有对使用行为、承载能力有很大影响的一些特点。海运史上焊接船舶大量破坏事例的调查分析表明,当时由于没有制造焊接船的先例,对焊接船的特点不了解,设计上直接抄袭铆接船体的型式是导致焊接船在航行中大量破坏的重要原因之一。焊接结构的主要特点有:

1. 焊接结构不可避免地存在焊接应力和焊接变形,处理不好会对焊接结构的强度和精度带来不利影响。在船体下料、气割,部件和分段焊接时必须充分考虑焊接变形,以保证实现公差造船。对于高强度钢、高合金钢需要考虑焊接残余应力对结构强度和性能的影响。

2. 焊接结构整体性强、刚性大。焊接船体结构比铆接船整体性强,使其具有良好的不渗透性。但整体性强使船体结构刚性大,对应力集中敏感,焊接船的舱口、舷窗如果像铆接船那样设计成方的,就会在尖角处产生裂纹。同时整体性强、刚性大使焊接船止裂性比铆接船差,一旦开裂就很容易扩展到整个船体,而铆接船开裂一般会在铆接接头处止住。解决这个问题需要研究合理的船体结构设计和选材并在制造工艺方面采取一定的措施。

3. 焊接接头存在性能的不均匀性。大多数情况下,焊缝的化学成分与母材存在差异;焊接热过程或多或少会造成热影响区(HAZ)的晶粒长大,形成脆化区,对有些材料还会造成HAZ的软化;焊接过程会使焊缝或熔合区甚至热影响区产生宏观或显微缺陷;焊根、焊趾等截面突变处会产生应力集中等等。在进行焊接设计和结构制造时,应充分考虑到焊接接头不均匀性对结构使用性能的影响。

三、海洋平台建造与船舶建造的关系

海洋平台都是海上钢质建筑物,尤其是移动式钻井平台,无论从设计原理、建造工艺、技术特点、材料选用以及对制造厂生产设备、地理位置条件、生产场地诸方面要求而言,均和船舶建

造有很多相似之处。因此目前不少国家的造船业已经发展为兼顾船舶与海洋构筑物制造、综合性更高的工业部门,我国也不例外。这样做可以少投资甚至不投资就能设计制造出所需要的平台。我国自行设计制造的移动式平台全部都是在有关造船厂内建造的。就是固定式平台,除其导管架目前仍由渤海石油公司所属的平台制造厂(由原修造船厂改建而成的)制造外,其导管帽、甲板模块等也均由有关造船厂制造。因此本书在讲述船舶与海洋工程结构焊接时一般不单独将海洋平台等海洋构筑物拿出来讲述。

当然,海洋平台和船舶还是有一定区别的。就其制造方面而言,海洋平台比船舶施工质量要求更高,技术管理要求更细致,由于工程庞大、附件颇多,要求更为合理地组织施工,同时业主和验船师对平台的建造过程也监督得更为严格。

四、我国造船焊接技术的发展

在我国,从 50 年代中期开始,焊接造船逐步取代了铆接造船。在这一阶段,造船焊接技术得到了迅速发展,并使船体放样、加工、装配及焊接工艺都进行了相应的改革;焊接结构的渔船、快艇已成批实现分段建造;在中小型船舶建造中实际应用了国产的低氢型焊条及埋弧焊技术,使焊接过程的机械化程度和质量有了很大提高。

从 60 年代开始到 70 年代初,开发应用了双丝埋弧焊、垂直气电焊、耐磨及耐蚀合金堆焊、各种衬垫单面焊双面成型等高效焊接工艺。水下焊接技术开始发展。造船的材料从低碳钢发展到低合金高强度钢,且建造的船舶趋向大型化。同时电子计算机技术和数控技术也在船厂中逐步得到应用,促进了焊接技术的发展。在这期间我国先后成功地建造了万吨级远洋货船、50000t 油船。

70 年代末,我国造船业不但能满足国内市场的基本需要,而且顺利地完成了 12500t、27000t、36000t 货船、三用工作船以及海洋钻探平台等出口船舶的建造任务,焊接质量均符合相关船级社的要求。70 年代末我国船舶焊接高效化率(焊接高效化率是指实际生产中应用的高效焊接工艺占全部焊接工艺的百分比,以焊接材料消耗量计)达 13%~15%。

80 年代世界造船行业普遍萧条,而我国的造船行业却呈现一片繁荣。为了适应多造船、快造船的需要,1983 年中国船舶工业总公司大力研究开发和推广应用高效焊接技术,重力焊、低角度弹力焊、CO₂ 气体保护焊、下行焊条与高效铁粉焊条、单面焊双面成型等方法得到广泛应用。部分船厂还建立了平面分段流水线,实现了平面分段装配以及焊接的机械化和自动化,船舶的焊接高效化率逐年上升。不仅年造船吨位有较大幅度提高,而且为国外建造了大批新型、大型、特种用途船舶及多种类型海洋平台。在此期间我国还成功地建造了不锈钢内胆的化学品船、铝合金船、10 万 t 以上的油船、散货船。船舶的设计、自动化程度、及使用性能达到了国际先进水平。随着我国海洋石油的开发及海洋工程结构的发展,水下焊接与切割技术、水下焊接材料和焊接设备也进入了新的发展时期。

90 年代以来,焊接新材料不断涌现,焊接设备向多功能、多用途、逆变化、智能化发展。我国 1994 年的船舶产量比 1982 年增长了 2.9 倍。船舶工业总公司系统的船厂焊接高效化率在“八五”末期平均达到 65% 以上,到本世纪末,该公司系统各主要船厂的焊接高效化率可达 80% 左右。

我国海洋平台从向国外购买到自行设计制造,到目前已有一定规模。从 70 年代初建成第一座工作水深为 30m 的自升式平台(渤海一号)之后,1977 年后又相继建造了 5 座工作水深为 40m 的自升式平台。1983 年又建造设备更为完善的自升式平台。1984 年首建半潜式平台。

同时从 1982 年开始建造了一批用于采油的固定式导管架平台。还建造了一定数量的钻井船、固井船、物探船、海洋平台供应船、海洋浮码头等钻井设施或其配套设施。这不仅说明我国已具备设计制造各种类型的平台及其配套设施的能力,同时也反映了我国造船焊接技术已发展到一个更高的水平。

可以预计,随着计算机、微电子、信息传感以及机器人等技术领域的发展,我国的造船焊接技术将会进入国际先进行列。

参 考 文 献

1. 中国机械工程学会焊接学会编. 焊接词典. 北京: 机械工业出版社, 1998.
2. 曾乐主编. 现代焊接技术手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1993.
3. 应潮龙主编. 实用高效焊接技术. 北京: 国防工业出版社, 1995.
4. 张文钺主编. 焊接冶金学(基本原理). 北京: 机械工业出版社, 1995.
5. 中国机械工程学会焊接学会编. 焊接手册(1): 焊接方法及设备. 北京: 机械工业出版社, 1992.
6. 孔祥鼎, 夏炳仁主编. 海洋平台建造工艺. 北京: 人民交通出版社, 1993.
7. GB/T 3375—94. 焊接术语. 北京: 中国标准出版社, 1994.
8. 《船舶焊接手册》编写委员会编写. 船舶焊接手册. 北京: 国防工业出版社, 1995.
9. 孙维善主编. 船舶焊接(修订本). 北京: 国防工业出版社, 1992.

第二章 熔焊基本原理

§ 2-1 焊接电弧

实现焊接过程必需由外界提供相应的能量,对于熔化焊来讲,采用的能源主要是热能源,而焊接电弧就是热能源中应用最为广泛的一种。焊接电弧就是一种大功率、持续的气体放电现象。电弧是由两个电极和它们之间的气体空间所组成,要理解电弧的导电机构必需首先了解电弧中带电粒子的产生过程以及带电粒子在电场作用下的运动特点。

一、电弧中带电粒子的产生过程

电弧中的带电粒子主要依靠气体空间的电离和电极的电子发射两个物理过程产生的。

1. 电离

在一定条件下中性气体分子或原子分离为正离子和电子的现象称为电离。气体分子或原子在常态下是由数量相等的正电荷(原子核)和负电荷(电子)构成的一个稳定系统,对外界呈电中性。要使其电离就是要破坏这个稳定系统,这就需要对这个系统施加外来能量。常态下的气体粒子(分子或原子),受外来能量的作用失去电子后则成为正离子。使中性气体粒子失去第一个电子所需的最低外加能量称为第一电离能,生成的正离子称为一价正离子,这种电离称为一次电离。如果要使中性气体粒子失去第二个电子就需要更大的能量,称其为第二电离能,生成的正离子称为二价正离子,这种电离称为二次电离,依次类推。

电离能的单位是电子伏特(eV),即一个电子通过一伏电位差的空间所取得的能量,其数值为 $1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ 。在实用中常用电离电压来表示气体电离的难易,以伏表示的电离电压在数值上等于以电子伏特表示的电离能。

各种不同的气体电离所需要的能量是不同的,表 2-1 是一些常见气体粒子的电离电压。

常见气体粒子的电离电压

表 2-1

元 素	H	O	Fe	Ar	H ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂
电离电压(eV)	13.5	13.5	7.8	15.7	15.4	12.2	12.6	13.7

气体电离电压的高低说明电子脱离分子或原子所需的外加能量的高低,亦说明某种气体粒子电离的难易,在相同的外加能量下电离电压低的气体粒子电离较容易,有利于维持电弧的稳定。

任何中性气体粒子受到外加能量作用的数值达到或超过电离电压时就会产生电离,外加能量可以通过不同的方式施加于中性气体粒子,但使之电离所必须的最低能量数值并不因施加方式的不同而改变,亦即电离电压是固定数值。

根据接受外加能量种类的不同气体粒子的电离分为三类:

(1)热电离:气体粒子受热作用而产生的电离称为热电离。根据物理学的气体分子运动理论可以知道,某一容积气体的温度的高低意味着气体粒子总体动能的高低,亦即气体粒子平均运动速度的高低。气体温度越高,气体粒子的运动速度也越高,即动能越大。由于气体粒子的热运动是无规则的运动,粒子之间将发生频繁碰撞,如果粒子的运动速度足够高亦即动能足够大,粒子之间则可能发生非弹性碰撞,而引起气体粒子的电离。因此,热电离实质上是由于粒子之间的碰撞而产生的一种电离过程。

(2)电场作用下的电离:当气体中不存在电场时,不论是带电粒子还是中性粒子,都做无规则的无定向的运动而且相互频繁碰撞。但是当气体空间有电场存在时,则带电粒子除了作无规则的热运动外还会受到电场力的作用产生一个定向运动,正负带电粒子定向运动的方向相反,此时带电粒子的实际运动是无规则的热运动与沿电场力方向的定向运动的合成,电场将对带电粒子在电场方向的运动起加速作用,电能转换为带电粒子的动能。当带电粒子的动能在电场力的作用下增加到足够高的数值时,则可能与中性粒子产生非弹性碰撞而使之电离,这种电离称为电场作用下的电离。

(3)光电离:中性粒子接受光辐射的作用而产生的电离现象称为光电离。电弧本身就产生不同波长的光辐射,所以光电离也是产生带电粒子的一种可能的途径。

2. 电子发射

电弧中担负导电任务的带电粒子除依靠上述电离过程产生外,还需要从电极表面发射出来,电极只能发射电子而不能发射离子。当阴极或阳极表面接受一定外加能量的作用时电极内部的电子皆可能冲破金属电极表面的约束而飞到电弧空间,这种现象称为电子发射。使一个电子由金属表面飞出所需要的最低外加能量称为逸出功,单位是电子伏特(eV),逸出功的大小与金属材料的种类、表面状态及金属表面氧化物的状态有关。表 2-2 是几种金属的逸出功。

几种金属的逸出功 表 2-2

金属种类		钨	铁	铝	铜	钾	钙	镁
逸出功(eV)	纯金属	4.54	4.48	4.25	4.36	2.02	2.12	3.78
	表面有氧化物		3.92	3.90	3.85	0.46	1.80	3.31

金属内部的电子只有在接受外加能量的作用后,其能量升高到超出其本身电子逸出功时才能冲破金属表面的制约而发射到金属表面外部的空间。由于外加能量形式不同,电子发射机构可分为如下四种:

(1)热发射:金属表面承受热作用而产生的电子发射现象称为热发射。这是因为金属内部的自由电子受热作用后其热运动速度增加。

(2)电场发射:当金属表面存在一定强度的正电场时,金属内的电子受到电场力的作用,当此力增大到一定程度时,电子可飞出金属表面,这种现象称电场发射。

(3)光发射:当金属表面接受光辐射时,也可使金属表面自由电子的能量增加,从而冲破金属表面的制约飞到外面来,这种现象称为光发射。产生光发射时,电子跑出金属表面并不从金属表面带走能量,不象热发射时那样对电极有冷却作用。

(4)粒子碰撞发射:高速运动的粒子(电子或离子)碰撞金属表面时,将能量传给金属表面的电子,使其能级增加而跑出金属表面,这种现象称为粒子碰撞发射。

二、焊接电弧的产生过程

在手弧焊中焊条和焊件各接到焊机的一个电极上,焊接时当焊条接触焊件而又随即拉开的瞬间,在焊条端部和焊件之间就会产生明亮的电弧,在电弧产生的这一短暂的过程中,实际上经历了三个阶段:“短路—空载—燃弧”。它们的机理是这样的:

1. 短路过程:焊条接触焊件形成短路,由于焊条表面与焊件表面都不可能是绝对的平整,因此这个接触只能是一些突出部位的微小的点的接触,所以流过这些点的电流密度极大,在触点上产生大量电阻热,使接触点上的温度骤然升高,部分金属熔化和蒸发,并使焊条中某些易分解的或低沸点的物质变成蒸汽,这样就使两极间充满了具有低电离能的物质的蒸汽,为后面的电离做好物质准备。同时由于短路引起的大量电阻热使阴极表面的电子获得了能量迅速产生电子的热发射,这就是短路阶段的主要作用。

2. 空载阶段:焊条与焊件短路并随之将焊条拉开的瞬间,电弧尚未形成,此时电源处于空载状态。空载时电压较高,这个较高的电压完全加在焊条端面与焊件之间的很短距离内,在焊条与焊件之间形成很大的电场强度。在这个强大的电场作用下,将产生电场作用下的电离和电子的电场发射。在这个阶段里,由电离和电子发射所产生的带电粒子浓度逐渐增加,为燃弧创造了条件。

3. 燃弧阶段:电子和离子在电场的作用下产生加速运动,以很高的速度射向阳极和阴极,它们在通过两极空间时,又与两极间的气体中性质点碰撞,产生碰撞电离使中性质点分解为电子和离子,这些电子和离子又被电场加速,又可能与中性质点碰撞产生新的电离,这样周而复始,连锁反应,自由电子数和离子数就迅速增多起来,电子跑向正极,正离子跑向负极进行放电,于是就产生了电弧。

上述三个阶段是在极短的时间内连续进行的,通常称为引弧。

三、焊接电弧的构造及温度

当电弧引燃时,在电弧长度方向的电场强度并不是均匀的,通过实际的测量得到的电弧沿长度方向的电压分布如图 2-1 所示。由图可以看到电弧由三个电场强度不同的区域构成,阳极附近的区域称为阳极区,阴极附近的区域称为阴极区,而中间部分称为弧柱区。

阳极区:其电压降称为阳极压降,沿弧长方向的尺寸约为 $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{cm}$,该区电流主要由电子流组成,阳极表面上存在一个光亮的斑点叫阳极斑点是电子流集中射击的地方。温度比阴极斑点的温度高。

阴极区:其电压降称为阴极压降,沿弧长方向的尺寸约为 10^{-5}cm ,该区电流主要由电子流和正离子流组成,阴极表面上同样存在一个光亮的斑点叫阴极斑点,是电子流集中发射的地方。

弧柱区:它的长度比阴极区和阳极区大的多,占弧长的绝大部分,可以认为弧柱长度基本等于电弧的长度。

电弧的温度分布为沿径向是中心处温度高而四

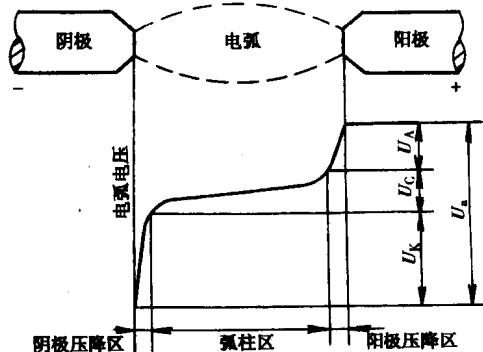


图 2-1 电弧各区域的电压分布示意图

U_A -阳极电压降; U_K -阴极电压降;

U_C -弧柱电压降; U_A -电弧电压

周低,如图 2-2 所示;沿轴向是弧柱的温度较高,可达 5000~8000K,甚至更高,而两个电极上温度较低,如图 2-3 所示。这是因为电极温度的升高受到电极材料导热性能,熔点和沸点的限制,而弧柱的温度则不受材料的限制。

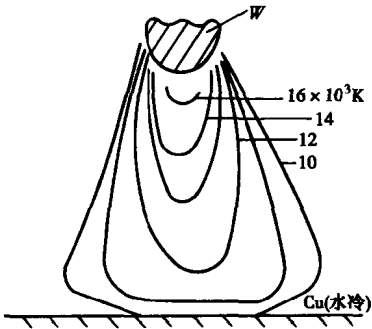


图 2-2 W-Cu 电极之间电弧等温线
(电流 200A,电压 14.2V,保护气 Ar)

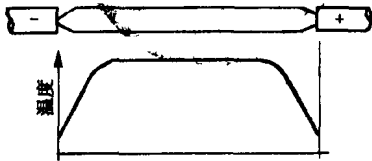


图 2-3 电弧温度的轴向分布

四、焊接电弧的静特性

在电弧长度一定时,电弧两端的电压与焊接电流之间的关系称为电弧的静特性,电弧静特性曲线呈 U 型,如图 2-4 中曲线 2 所示,由图可以看出,电流较小时,由于气体电离程度不够高,电弧电阻较大,所以电弧电压较高,随着焊接电流的增加,气体电离度上升,导电情况改善,电弧电阻减小,所以电弧电压很快下降,呈现下降特性。当电流继续增大时,电弧电压不再随电流的增大而变化,基本保持某一数值不变,呈现平特性。当焊接电流更大时电弧电压随电流的增大而升高,电弧静特性呈上升特性。虽然由于电极材料、周围气氛、电弧长度、电极形状、电极直径、气体压力和温度等因素的不同,电弧静特性曲线的形状会稍有变化,但都有图 2-4 那样的趋势。

当弧长变化时,电弧的静特性曲线做上下的平行移动,如图 2-5 所示,即当电弧长度增加时,电弧电压也增加,静特性曲线向上移动,在手弧焊应用的电弧范围内,可以近似的认为电弧电压仅取决于电弧长度,而与电流大小无关。手弧焊时,一般电弧电压在 16~25V 范围内变化,其值与电极材料、大小、气体介质及电弧长度等因素有关。

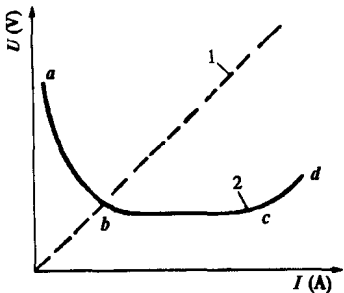


图 2-4 普通电阻静特性与电弧静特性曲线
1-普通电阻静特性;2-电弧静特性

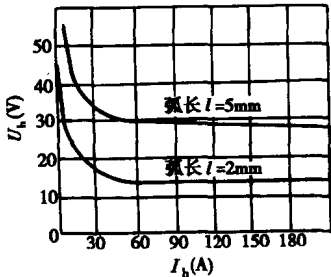


图 2-5 不同弧长的电弧静特性曲线

从电弧的静特性曲线可知,电流不同时,电弧的电阻(即电弧电压与电流的比值)不是常数,所以它不符合欧姆定律,故对电源而言,电弧是一个较特殊的非线性电阻负载,为了能使电弧稳定燃烧,需要有一个专用的焊接电源供电。

五、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,同时保持一定的弧长、不偏吹、不摇摆、不熄灭。影响电弧稳定性的因素有以下几个方面。

1. 弧焊电源

弧焊电源的种类和极性都影响电弧的稳定性。直流电源的电弧要比交流电源的电弧稳定;空载电压较高的弧焊电源其电弧较空载电压低的稳定;有良好动特性的弧焊电源容易保证电弧稳定;采用直流电源焊接时,如果用碱性焊条则必须采用直流反接才能使电弧稳定燃烧,而不能用直流正接。那么什么叫直流正接,什么叫直流反接呢?这是因为直流弧焊电源有正、负两极,因而有两种不同的接法:将焊件接到直流弧焊电源的正极,焊条接至负极,这种接法叫直流正接,又称正极性,如图 2-6a)所示;反之,将焊件接至负极,焊条接至正极称为直流反接,又称反极性,如图 2-6b)所示。

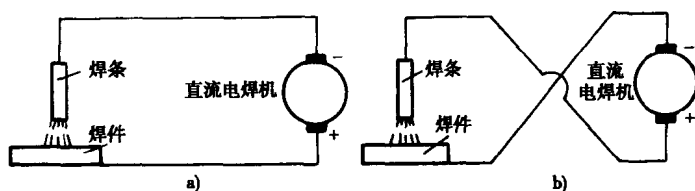


图 2-6 用直流电焊机时极性的不同接法
a)正接;b)反接

2. 焊条药皮

当焊条药皮中含有较多低电离电位元素(如钾,钠等)或它们的化合物时,容易保持电弧稳定燃烧。而药皮中含有较多氟化物时,由于在气体电离过程中,氟容易获得电子而形成负离子,使自由电子大量减少,而且负离子还能与正离子结合成中性质点,使电弧导电性变差,因而降低了电弧的稳定性。焊条偏心容易引起电弧偏吹,药皮局部剥落的焊条,电弧偏吹更为严重。也影响电弧的稳定性。

3. 气流

在露天(如室外船台)进行焊接时,风对电弧的稳定性影响很大,特别是对气体保护焊,严重时甚至无法施焊。

4. 焊接处不清洁

焊接处若有铁锈、水分及油污等物质,它们在焊接时要吸热分解,因此消耗了电弧的热能,影响电弧的稳定性。

5. 电弧的磁偏吹

因为电弧是一种导通电流的导体,而任何通电导体周围都要产生磁场,而磁场又会反过来对电流产生力的作用。在正常情况下电弧在焊条轴线周围产生的磁场强度是均匀的,电弧保持焊条轴向位置,如果由于种种原因使这种磁力线分布的均匀性受到破坏,电弧就会受到周围不均匀的电磁力的作用而偏离焊条轴线方向。这种由于电弧自身磁场促使电弧偏离焊条轴线方向的现象叫做电弧的磁偏吹。它极大地影响焊接质量,严重时使焊接过程难以进行。什么

情况下会引起电弧的磁偏吹呢?

导线接线位置不当:焊接时不只是通过焊条的电流会在电弧空间产生磁场而且通过工件的电流也会在电弧空间产生磁场,如果接线位置不当如图 2-7c)、d)那样接线,由于电流通路在电弧处相互垂直,则在电弧左侧(c)图)或右侧(d)图)的空间为两段电流导体(电弧和工件)产生的同方向的磁力线相互迭加从而提高了该处的磁力线密度,而电弧另一侧的空间只有电弧本身产生的磁力线,因此电弧两侧的磁力线分布不均匀,故磁力线密度大的一侧对电弧产生的推力大,磁力线密度小的一侧对电弧产生的推力小,由此使电弧偏离焊条轴线。

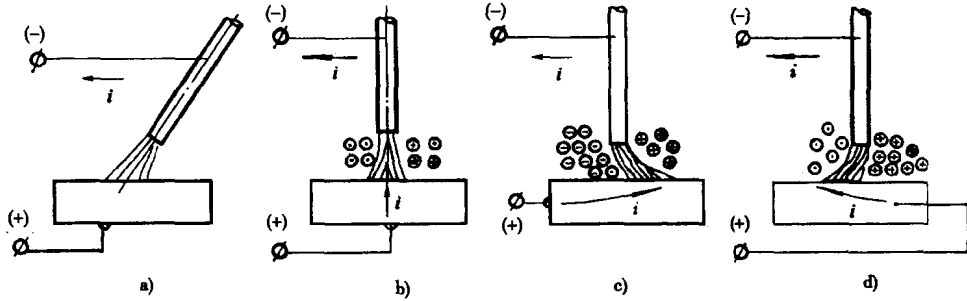


图 2-7 正常的焊接电弧和电弧的磁偏吹

另外还有一种情况也会引起磁偏吹,这就是电弧附近有铁磁性物质,当电弧一侧放置一块钢板(良导磁体)时,则电弧将离开焊条轴线偏向钢板,如图 2-8 所示。这是因为在电弧一侧放置钢板以后,钢板是良导磁体,磁力线将力求走磁阻小的通路,较多的磁力线集中到钢板中,电弧右侧的空间的磁力线密度显著降低,破坏了空间磁力线分布的均匀性,使电弧偏向有了钢板的一侧,看上去好像向钢板吸引了电弧,实质上是被电弧另一边较强的磁场推了过来,电弧一侧放置的钢板越大或距离越近,引起的磁力线分布的不均匀性就越大,电弧的磁偏吹就越厉害。

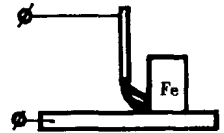


图 2-8 铁磁物质对电弧磁偏吹的影响

为了防止和减少电弧的磁偏吹现象,可适当改变接线的位置,例如把图 2-7c)的接线改为图 b)的方式,尽可能使弧柱周围的磁力线分布均匀;适当调整焊条的倾斜角度使焊条朝电弧偏吹的方向倾斜;采用短弧焊或改用交流电源。

§ 2-2 焊接热过程

焊接热过程所研究的内容主要是母材和焊条上热的分布及流动的规律性。焊接时焊接热源不断地把热能传递到母材的焊接区,使母材局部受热,焊件上存在着一个温度场,并与周围介质之间存在着温度差。因此,在焊件内部以及焊件与周围介质之间就要发生热能的流动。这些热能的传递和流动直接影响着焊件的最高温度、高温停留时间和冷却速度,进而影响焊缝的性能、焊件质量,所以必须认真研究焊接热过程。

一、焊接热效率

在焊接热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周围介质和飞溅,也就是说焊件吸收到的热量要少于热源所提供的热量,我们把焊件吸收的热量与热源提供的热量之比称为焊接热效率,常以字母 η 表示。在一定条件下焊接热效率 η 主要取