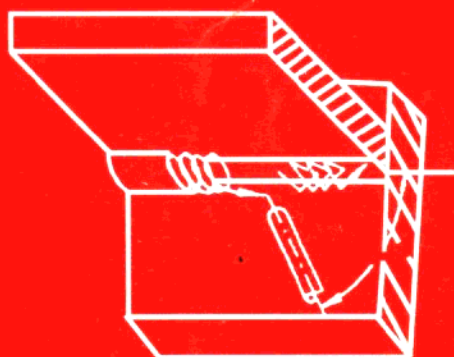


造船厂技校教材

船舶焊接工艺



哈尔滨工程大学出版社

船舶焊接工艺

船舶技校教材编委会

主任 韩 发
委员 韩 发 葛新辉 胡建忠 任 生
张 铜 倪绍灵 何亚利 林柱传
金仲达 朱春元 汪 建

船舶技校教材编写组

基础课专业组	主 编	胡建忠	副主编	汪 建
船体装配专业组	主 编	葛新辉	副主编	魏东海
船舶电焊专业组	主 编	任 生	副主编	周雅莺
船舶电工专业组	主 编	倪绍灵	副主编	卢建明
船舶钳工专业组	主 编	张 铜	副主编	竺维伦
船舶管系专业组	主 编	何亚利	副主编	叶 平
船舶木塑专业组	主 编	汪 建	副主编	曹建民
本 书 编 者	吴润辉	王永兴	张 波	
本 书 主 审	周公佐			

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书扼要介绍了焊接电弧的建立、构造、静特性及焊接电弧的极性、磁偏吹和熔滴过渡;常用焊接材料的类型、组成及选用、保管和使用,焊条分类、型号和牌号;重点介绍了手工电弧焊电源、手工电弧焊操作技能、焊接缺陷及检验、金属熔焊原理;阐述了氩弧焊、二氧化碳气体保护焊、埋弧自动焊等焊接工艺;电渣焊、等离子弧焊接与切割方法;常用金属材料的焊接;焊接应力与变形;还介绍了船体及舾装件焊接工艺,包括船舶焊接安全操作技术、船体结构焊接工艺原则、整体造船和分段造船中的焊接工艺及艏、艉总段的焊接、船台焊接和船体主要部件与舾装焊件的焊接等内容。

该书是供船舶类技工学校电焊专业学生使用的教材,亦可作为船厂焊工技术培训教材和非船舶类技工学校电焊专业学生的参考用书。

船舶焊接工艺

吴润辉等 编

责任编辑 尚鲜利

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新华书店经销

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 28 字数 648 千字

1996年10月 第1版 1999年6月 第2次印刷

印数:3001~5000

ISBN 7-81007-703-1

U·47 定价:22.00元

前 言

技工学校担负着为企业培养中级技术工人的重任,其教学质量的高低影响到企业工人队伍素质和经济效益的提高。

中国船舶工业总公司所属技工学校大多数建立或恢复于“七五”期间。当时主要工种的教学内容,基本上停留在传统的造船工艺水平上,与 80 年代迅猛发展起来的新的造船工艺存在着明显的差距。在教学安排上忽视技能训练,技校毕业生走上生产岗位后表现出独立工作能力不强。为解决这一问题,总公司于 1987 年在首届船舶总公司技工学校校际协作会上明确提出技工学校教学改革方向,一是培养目标为中级技术工人,二是将原来的理论和实习教学的课时从 1:1 变为 3:7,突出技能培训,增强学生的动手能力。并于 1989 年重新颁发了船舶类五大工种的教学计划及大纲,1992 年成立了船舶总公司技工学校教材编写委员会。在编委会的领导下,由于各专业组主编、副主编和编审者努力工作,哈工程大学出版社及有关学校给予了大力支持,我们船舶工业系统技工学校第一批系统教材正式面世了,它必将对船舶工业技工学校的发展起到积极的推动作用。

这套教材包括船体装配工、船舶电焊工、船舶钳工、船舶电工、船舶管系工、船舶木塑工六大工种进行中级工培训的基础课、专业课和技能训练的教材。教材编写以工人技术等级标准为依据,以企业的生产技术现状为基础,突出对技校学生操作技能的培养,力求做到学用结合,改变以往技工培训教材内容偏多、偏难,学用脱离的情况。船舶行业特有工种有 80 多个,不可能每个工种都统一编写教材,这套教材的出版,无疑只是起个样板的作用,各技工学校可以参照这套教材编写其它工种的教材或讲义。同时,由于各企业的生产技术不一,这套教材也很难做到所有内容都适合各企业的培训要求,各企业的学校、教育部门可以根据技术等级标准和企业的生产技术要求,对教材内容进行删减和补充。这套教材同样适合在职工人的中级工培训。

由于整个成书过程比较仓促,与以前教材相比,内容变化较大,加上组织工作经验不够,编写水平有限,缺点和错误在所难免,敬请专家和教育工作者批评指正,以利再版时改正。

编委会

1995.6

编者的话

《船舶焊接工艺》是根据中国船舶工业总公司 1990 年审定颁发的《专业理论课教学大纲》而编写的,供船舶类技工学校电焊专业的学生使用,亦可作为船厂焊工的技术培训教材和非船舶类技工学校电焊专业学生的参考用书。

本书的内容注重理论联系实际,有一定的实用性。考虑到技工学校今后具有比原先要高的培养目标,因此在教材中增添了一些新的内容。

《船舶焊接工艺》主要由江南造船厂技工学校吴润辉同志和王永兴同志编写,大连造船厂技工学校张波同志也参与了一部分内容的编写。其中吴润辉同志编写了第七章至第十二章和第十四章;王永兴同志编写了绪论至第六章;张波同志编写了第十三章。最后经江南造船厂周公佐同志主审。

在编写过程中兄弟船厂技校的一些同志主动提供资料和意见,在此表示感谢。

由于编者经验不足、水平有限,这本教材可能存在不少缺点和错误,希望批评指正。

编 者

1995 年 12 月

目 录

绪论	1
习题	5
第一章 焊接电弧	6
第一节 焊接电弧的建立	6
第二节 焊接电弧的构造及其静特性	9
第三节 焊接电弧的极性、磁偏吹和稳定性	12
第四节 电弧焊的熔滴过渡	15
习题	18
第二章 常用焊接材料	19
第一节 焊接材料的类型及组成	19
第二节 焊条分类、型号及牌号	32
第三节 焊接材料的选用、保管和使用	51
习题	53
第三章 手工电弧焊电源	55
第一节 对手工弧焊电源的要求	55
第二节 手工弧焊电源的分类及型号	59
第三节 交流手工弧焊变压器	62
第四节 直流手工弧焊电源	67
第五节 手工弧焊电源的维护及故障处理	78
习题	81
第四章 手工电弧焊操作技能	82
第一节 手工电弧焊的安全技术	82
第二节 焊接接头型式、焊缝形式及代号	83
第三节 手工电弧焊的基本操作技术	100
第四节 焊接工艺参数	104
第五节 各种位置的焊接	110
第六节 手工电弧焊操作技术的应用	118
习题	133
第五章 焊接缺陷及检验	134
第一节 焊接质量检验的重要性	134
第二节 焊接接头的缺陷与分析	135
第三节 焊接质量的检验方法	149
习题	159
第六章 金属熔焊原理基础	160

第一节	电弧焊的冶金特点	160
第二节	气体对焊接金属的影响	161
第三节	熔渣的作用	163
第四节	焊缝金属的结晶	168
第五节	焊接接头的组织及性能	173
	习题	179
第七章	氩弧焊	180
第一节	氩弧焊概述	180
第二节	钨极氩弧焊	182
	习题	196
第八章	二氧化碳气体保护焊	197
第一节	CO ₂ 气体保护焊的特点及应用	197
第二节	CO ₂ 气体保护焊的冶金特点	198
第三节	CO ₂ 气体保护焊的焊接材料与设备	202
第四节	细丝 CO ₂ 气体保护半自动焊工艺	210
第五节	特种 CO ₂ 气体保护焊工艺	222
	习题	234
第九章	埋弧自动焊	235
第一节	埋弧自动焊概述	235
第二节	埋弧自动焊设备	237
第三节	单丝埋弧自动焊工艺	248
第四节	高效埋弧自动焊工艺	263
	习题	273
第十章	气焊与气割	274
第一节	气焊和气割用的气体、设备及工具	274
第二节	气焊工艺	284
第三节	气割工艺	288
	习题	294
第十一章	其他焊接及切割方法	296
第一节	电渣焊	296
第二节	等离子弧焊接与切割	301
第三节	钎焊	305
第四节	电阻焊	308
第五节	碳弧气刨	313
	习题	316
第十二章	常用金属材料的焊接	317
第一节	金属材料的可焊性	317
第二节	碳素钢的焊接	319

第三节	合金钢的焊接	323
第四节	铸铁的焊补	345
第五节	有色金属的焊接	349
习题		356
第十三章	焊接应力与变形	357
第一节	焊接热过程	357
第二节	焊接应力与变形产生的原因	358
第三节	焊接应力	365
第四节	焊接变形	368
第五节	防止和减小焊接应力与变形的措施	375
第六节	结构焊后处理	381
习题		383
第十四章	船体及舾装件焊接工艺	384
第一节	船舶焊接安全操作技术	384
第二节	船体结构焊接的工艺原则	387
第三节	整体造船中的焊接工艺	390
第四节	分段造船中的焊接工艺	391
第五节	艏、艉总段的焊接	399
第六节	船台焊接	411
第七节	船体主要部件与舾装焊件的焊接	416
第八节	船体维修的焊接工艺	432
习题		436

绪 论

在船舶结构中,构件的联接方式有铆接和焊接两种。前者是可拆联接,后者是不可拆联接。船舶生产主要采用不可拆的金属的焊接。因为焊接技术先进、经济效益高,所以发展迅速。从30年代起,焊接就取代了船舶生产中的铆接工艺。焊接之所以能迅速取代铆接,其根本原因在于它比铆接有更显著的优越性。现在焊接已成为造船中最主要的联接金属的加工方法。

一、焊接的优点

(一) 焊接结构重量轻,节约金属材料

在船体结构制造中,用焊接代替铆接,一般可节约钢材15%~20%,因而减轻了结构的重量。这是因为,焊接不象铆接那样需要联接用的辅助材料。铆接与焊接的比较如图0-1所示。因为焊缝金属的重量只占构件重量的1%~1.5%左右,铆钉重量却占构件重量的3.5%~4%,所以,焊缝比铆钉轻,在同等排水量的情况下,焊接船比铆接船载重量大得多。

(二) 焊接结构劳动量少,生产效率高

铆钉联接的船体结构在制造中,必须先划线、钻孔,再铆接,工序多;铆枪比焊钳重得多,工作时噪声又很大,高达92分贝,铆工的操作环境恶劣。用焊接代替铆接就可以简化工序,节约大量的工时和劳动力,缩短了建造周期,焊接成本较低;操作时噪音相对较小,改善了工作条件。

(三) 焊接结构强度高,接头密封性好

铆接时,船体钢板上必须开铆钉孔,这样就减少了结构的受力面积。其次,与水经常接触的铆钉部位,其联接的紧密程度有限,长期使用容易腐蚀而影响结构的致密性。焊接时,不用钻孔,结构的强度没有削弱,材料截面能得到充分利用。并且,焊缝具有良好的紧密程度,油密、水密性好。因此,焊接船体设置的水密舱壁比铆接船体少。

(四) 焊接结构加工方便,有利于实现机械化自动化

铆接工序复杂,辅助时间长且所需设备种类较多,这对加工庞大的船体结构来说,增加了难度。改用焊接制造船体结构,可以将复杂的结构分解成独立的数个部件、分段达到化大为小、化难为易的目的。而且,焊接时辅助设施少,操作比较简单,生产过程容易实现机械化和自动化。

当然,焊接结构也有不尽如意之处。从船舶的焊接生产过程和船舶的海损事故中,可

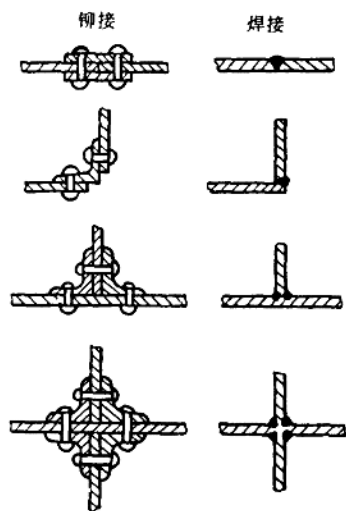


图0-1 铆接与焊接的比较

以找到它的不足，如：焊接易引起结构变形和产生焊接应力；焊接时烟尘、有害气体等不良因素的影响致使安全卫生环境变差。这些缺点可以通过采用合理的焊接工艺，改良焊接材料和采取有效的劳动保护措施而得到圆满的解决。

二、焊接的分类

为了达到金属联接的目的，必须从外部给联接的金属以很大的能量，使金属接触表面达到原子间的距离而结合成一体。通常的方法就是对被焊金属进行加热、加压或加热的同时加压。这样，通过焊接后的联接材料不仅在宏观上建立了联系，而且在微观上建立了组织之间的内在联系。可见，焊接就是通过加热或加压，或两者并用，并且用（或不用）填充材料，使焊件达到原子结合的一种加工方法。

按照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。

（一）熔焊

熔焊是在焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，不加压完成焊接的方法。在加热的条件下，增强了金属的原子动能，促进原子间的相互扩散，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，冷却凝固后就可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，常见的有电弧焊、气焊、电渣焊、气体保护电弧焊等。

（二）压焊

压焊就是在焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以形成焊接接头的方法。这类焊接有两种方式：

一是将两块金属的接触部分加热到塑性状态或表面局部熔化状态，然后施加一定的压力。这就增加了两块金属件表面的接触面积，促使金属的氧化层破坏或被挤出，使金属表面晶格变形而产生再结晶，最终形成牢固的焊接接头。这种压焊方法主要有锻焊、接触焊、摩擦焊等。

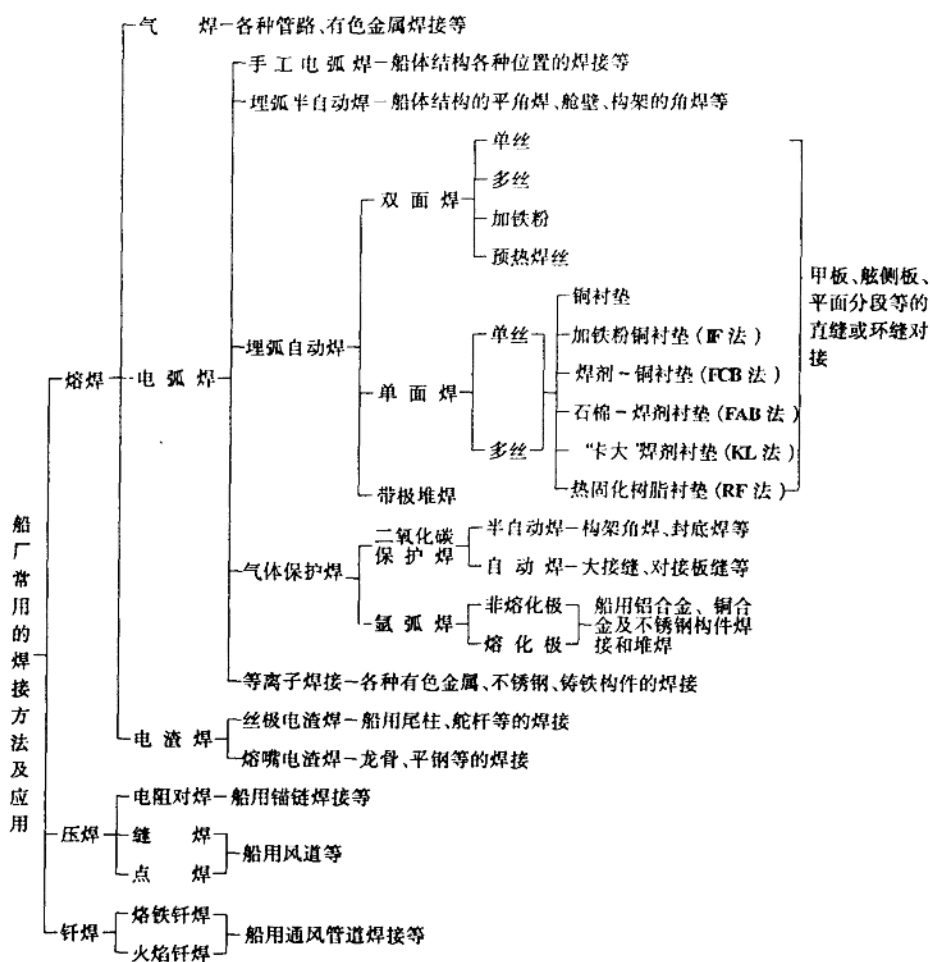
二是不进行加热，仅在被焊金属的接触面上施加足够的压力，借助于压力所引起的塑性变形，以使原子间相互接近而获得牢固的接头。这种压焊方法主要有冷压焊、爆炸焊等。

（三）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。

目前船厂常用的焊接方法及应用如表 0-1 所示。

表 0-1 船厂常用的焊接方法及应用



三、我国船舶焊接技术发展概况

造船工业是技术密集性行业，它是国民经济建设的重要组成部分，它的发展是衡量一个国家工业水准的重要尺度之一。近 10 几年来，在国家对外开放政策的指引下，中国造船工业打破长期封闭的状态，昂首阔步走向世界，在船舶出口和引进方面开创了新局面。随着改革的不断深入，商品经济的日益发展，造船业面临着激烈的市场竞争。积极采用新技术、新工艺，不断提高生产效率、降低成本，稳定和提高产品质量是造船在世界竞争取胜的法宝，其中焊接起着不可低估的作用。焊接是船体建造的关键工序，焊接工时约占船体建造总工时的 30%~40%，焊接成本占船体建造成本的 1/3 左右，焊接生产率是影响造船产量和生产成本的重要因素之一。同时，船体建造质量中焊接质量是一项重要的检验指标。因此，在我国造船发展的历程中，焊接技术对造船生产的发展起了一定的作用。

50 年代初期，我国开始进行有计划的大规模的经济建设，造船工业也进入了生产恢

复和技术改造阶段。这期间，有些船厂在中小型船舶的建造中大量采用了焊接结构，它逐步取代了传统的铆接工艺。碱性焊条被应用于船体结构的焊接，使焊接接头性能和质量有了可靠的保证。由苏联引进的埋弧自动焊接技术，开始在造船生产中发挥作用，使造船生产有了迅速的发展。

50年代末期和60年代初期，有些船厂陆续试验成功了 CO_2 焊、重力焊、单面焊等焊接方法。70年代初期又相继研究成功垂直、横向气体保护自动焊技术。然而，由于生产管理和技术管理制度不完善，焊接设备与材料不配套，致使这些高效焊接技术未能推广应用。

70年代后期到80年代初期，在船舶生产要打进国际市场的方针鼓舞下，我国造船业进入了一个新的历史时期。按照国际船舶建造规范和标准以及国际船舶贸易的惯例，各船厂积极建造了各种出口船舶。先后为香港、新加坡、意大利、挪威等国家和地区建造了远洋散装货船、集装箱船、三用工作船、汽车滚装船等新船型。以后，各船厂又陆续建造了更为先进的液化气船、储油船及其他一些新型船舶。这些船舶的设计和建造质量得到国际航运界和船级社的一致好评，获得了良好的声誉……。可是，这些成绩的取得技术上靠的还是传统的生产管理方式和工艺，焊接生产大部分仍然局限于手工焊和埋弧焊两种方法。为国外所推崇的一些常用的高效焊接技术如 CO_2 焊、衬垫焊等刚刚起步，使用面很狭窄，与发达国家相比存在较大差距。这种以手工电弧焊为主的生产方式难以满足船舶生产发展的需要，难以在世界上立足。为了改变这种单凭劳动力来扩大生产的落后面貌，使中国造船业持续不断地发展，船舶工业总公司及时作出了依靠技术进步，振兴船舶工业的决策，确定了发展高效焊接技术的方针。80年代中期，我国的造船焊接技术进入了新的发展阶段，高效焊接技术有了可喜的进展，但各种新技术、新工艺的推广与应用极不平衡，有些高效焊接方法的应用比例很低，大大落后于日本等一些造船发达国家。

日本的造船吨位为什么大大高出我们，其根本原因在于造船生产中大量使用了 CO_2 焊。因为 CO_2 焊是诸多高效焊接方法中成本最低、见效最快的一种。而我国造船中 CO_2 焊起步虽早，但没有全面投入。进入90年代， CO_2 焊在各船厂的应用比例有了一定的增长，但各船厂的发展极不平衡。为此，我国的造船焊接生产应该进一步扩大 CO_2 焊的使用范围，迅速提高其应用比例。如今，各船厂正在进一步抓好 CO_2 焊焊接材料的质量，拓宽和理顺生产供应渠道，解决气体储存及输送系统、外场作业及安全操作环境等问题。与此同时，有些船厂正在完善有关的管理制度；逐步建立了高效率、合理化的焊接工艺结构；抓紧焊接设备的更新换代，降低焊接设备的电能消耗；有计划地开展机械手、机器人的研制工作；正在继续抓紧抓好焊接技术的培训、考核及认可工作，不断提高焊工的技术素质。最近几年各船厂的高效焊接技术有了较快的发展，特别是各种类型的衬垫广泛应用于 CO_2 焊、埋弧焊中，既提高了效率又保证了质量。随着各种船型的开发和建造，除船用碳素钢和船用高强度钢外，不锈钢、细晶粒高强度钢、Z向钢、5%镍钢以及铝合金等钢种得到了充分的应用，在焊接性能和质量上有了较大的提高……，鉴于此，相信不久的将来，我国的造船焊接技术会达到造船发达国家的水平。

四、造船焊接技术安全生产的重要性

随着船舶产品朝大型化发展的趋势，造船焊接生产的难度及要求越来越高，各种新工

艺、新技术的应用也越来越广。再说,船舶生产本身就体现了一种综合性的加工程序,这就增加了焊接生产和许多其他工种同时施工的复杂程度。而且,焊接工种本身的不安全特性,如经常接触各种可燃及易爆的气体、易燃的液体、有毒的烟尘和气体,电机及电器设备的使用,焊接过程中又需使用明火,有时还需要在高空作业或者要钻进狭小的舱室里焊接等等,这就增添了许多不安全因素。如果焊工和学生不遵守安全操作规程,就可能引起火灾、爆炸、触电、灼伤、中毒等事故。这不仅使国家财产造成损失,而且直接影响操作者本人及其他作业人员的人身安全。其次,焊接安全技术与生产技术有着密切的联系,实践证明,在造船中各种焊接新技术、新工艺,只有在安全技术问题得到解决的前提下,才有望被推广和使用。因此,对任何焊接新技术、新工艺的采用,必须同时用安全观点加以考虑,寻求适当的保障安全的方法。从某种意义上说,焊接安全技术问题也是生产技术问题。所以,船舶焊接生产中的安全防护非常重要,务必十分重视。工厂有关部门及从事焊接生产、焊接培训的教育部门,必须经常对焊工和学生进行安全技术教育和训练。在生产现场、培训场所建立必要的安全规章制度,使各级领导、焊接工人和学生在思想上重视安全生产,明确安全生产的重要性,增强责任感。只有这样,工厂才能有一个安全的生产环境,学校才能有一个安全的训练场所,才能使企业的生产,学校的教学运转正常。

五、本课程的作用和教学方法

本课程主要是为生产实习教学和工厂生产服务的,其教学内容以实践性较强的内容为主,强调理论联系实际。所以,它对生产及生产实习教学有一定的指导作用。它能够使学生把学到的理论知识转化为具体训练中的认识能力,转化为在生产中分析问题、解决问题的动手能力,从而能较好地完成教学和生产任务。

在教学中应该多种教学方法有机的结合和合理的运用。除采用惯常的讲授、问答等口述为主的教学方法之外,还可采用电化教育、参观、生产现场讲授等以直观为主的教学方法。有条件的还可开辟实验课堂,让学生在实验中感知有关的理论知识,加深理解。需要注意的是,在生产现场参观和教学时,事先应与有关部门取得联系,作好安排,到达生产现场时要特别注意安全,避免出现事故而影响教学。

习 题

1. 焊接与铆接相比具有哪些优点?
2. 什么叫金属的焊接?它分成哪几类,分别解释其内涵?
3. 造船焊接过程中为什么要特别强调安全生产?

第一章 焊接电弧

电弧是一种广泛用于金属焊接的能量。在焊接电弧中进行着复杂而激烈的电过程、热物理和化学冶金过程。因此，焊接电弧能有效和简便地将电能转换成熔化被焊金属所需要的热能和机械能。本章是从理论上对焊接电弧的导电过程及作用进行简要的分析，揭示出焊接电弧与焊接质量的内在联系。

第一节 焊接电弧的建立

众所周知，任何物质都是由原子组成的，而原子又是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子组成。原子核所带的正电荷量等于围绕它运转的全部电子的负电荷量，所以物质在通常条件下呈电中性。如空气通常是不导电的，也就是处于这种电中性状态。但是，如果采用某种方法改变气体的绝缘性质，使其电荷分离，则气体中就有带电粒子，也就是具有了导电性。这时，若有电场存在，气体中就有电流通过。这种气体中导电的现象称为气体导电或气体放电。焊接电弧就是这种气体放电所产生的结果。焊接时，将焊条与焊件接触后很快分开，这时在焊条端部和焊件之间立即产生了明亮的电弧，如图 1-1 所示。

这是什么缘故呢？这就是电场作用改变了两电极（焊条与焊件）间气体的性质，使其变成了带电的导体。同样，电场也对金属电极的导电发生作用，只不过要使金属导电通常比较简单。因为，金属本身拥有大量的自由电子，所以金属导电两端只要加上电压，自由电子便会产生定向运动而形成电流。当金属内部的电子接受外界能量达到一定数值时，就能冲破金属表面的制约而发射到金属表面外部的空间，这就是电子发射现象。可见，焊接电弧具有明显的特征：电弧导电的介质是电极金属、电极间的气体、焊条药皮和焊剂的蒸气，或是某种成分的保护气体；电弧的导电过程是在电场作用的情况下进行的等等。这些就构成了影响焊接电弧产生的重要因素。

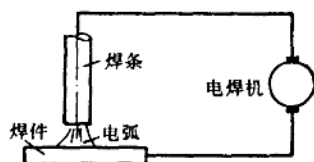


图 1-1 焊接回路示意图

如前所述，电弧放电包含着两个过程，其一是气体电离，其二是阴极电子发射，这便是电弧产生的两个不可分割又同时存在的重要条件。

一、焊接电弧产生的条件

(一) 气体电离

气体电离是在一定条件下，使中性的气体分子或原子分离成正离子和电子的现象。一般使电弧空间的气体介质电离有如下几种形式：

- (1) 光电离 气体的中性粒子在光辐射作用下产生的电离。
- (2) 热电离 气体的中性粒子受热作用而产生的电离。

(3) 电场作用下的电离（碰撞电离） 气体的中性粒子受到高速运动的电子撞击时所产生的电离。

在焊接电弧中，这几种电离形式均存在。但是，由于电弧温度非常高，电弧中气体原子的运动速度非常快。因此，热电离是气体电离的主要形式。

(二) 阴极电子发射

阴极的金属表面连续向外发射电子的现象叫阴极电子发射。焊接时，根据阴极所吸收的能量不同，电子发射也有三种形式：

(1) 热发射 阴极金属表面受热作用而产生的电子发射现象。

(2) 电场发射（自发射） 阴极金属表面受强电场作用而发射电子的现象。

(3) 撞击发射 高速运动的粒子（正离子）撞击阴极金属表面使阴极表面发射电子的现象。

以上几种电子发射在焊接过程中和气体电离一样常常是同时存在，相互促进。焊接电弧就是在这些能量的交替作用下产生并持续不断地燃烧起来。电弧产生和燃烧的难易程度，往往取决于各种气体或金属元素电离化和电子发射所需要的能量大小。一般用电离电位、激励电位和电子逸出功等物理量来表示：

电离电位 消耗于使电子与原子核分离的能，称为电离的功；以伏特来表示的功叫做电离电位或电离势。

激励电位 使中性粒子激励所需要的最低外加能量称为激励电位。当中性原子或分子受外来能量的作用，其数量还不足以使电子完全脱离气体的原子或分子，但可能使电子从较低的能级转移到较高的能级，则破坏了中性粒子的内部稳定状态，这种状态称为激励。

电子逸出功 电子以阴极表面逸出所需要的能量称为逸出功。

这些表示能量大小的物理量与元素的性质和构造有密切的联系。焊接时，所需能量小的气体或金属元素就有利于产生电弧并能稳定燃烧。因此，手工电弧焊时，常在焊条药皮中加入钾、钠、钙等一些电离电位（或激励电位）比较低的碱土金属，如水玻璃（ $\text{Na}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）、碳酸钠（ Na_2CO_3 ）、大理石（ CaCO_3 ）等。同样，逸出功小的金属其阴极电子发射就容易。其次，在电弧中除电子和正离子外，还可能产生负离子。这是在一定条件下，有些中性原子或分子吸附一个电子而形成的。各种元素吸附电子形成负离子的倾向取决于它们的电子亲和能。元素中电子亲和能越大，形成负离子的倾向越大。元素的电子亲和能的大小取决于原子的构造。氟、氯等一些卤族元素的电子亲和能最大，氧、氮、氢等气体的电子亲和能较小，氦、氖等惰性气体不会形成负离子。负离子虽然带有与电子相同的电荷，但它的质量却比电子大得多，因此不能有效地传递电荷，而且负离子的生成使自由电子数量降低，从而削弱了电弧的导电性，使电弧燃烧的稳定性降低。常见气体及元素的电离电位、电子逸出功、电子亲和能和电负性值见表 1-1。

通过上面的分析，我们知道链锁反应的电离过程使极间的中性质点变成带电的电子和正离子。电子与正离子分别跑向两极，进行中和放电，于是产生了电弧。显然可以得出这样的结论：由焊接电源提供的，具有一定电压的两电极间或电极与焊件间，在气体介质中产生的持久而强烈的放电现象，就被称作焊接电弧。

表 1-1 电弧中常见气体及元素的电离电位 E_i 、逸出功 ϕ_y 、亲和能 E_q 及电负性值

气体	E_i (eV)	E_q (eV)	电负性	元素	E_i (eV)	E_q (eV)	ϕ_y (eV)	电负性	元素	E_i (eV)	E_q (eV)	ϕ_y (eV)	电负性
He	24.58	<0	-	Al	5.98	0.52~1.19	4.25	1.5	Cs	3.38	0.23	1.81	0.7
Ar	15.76	<0	-	Cr	6.76	0.98	4.59	-	Pd	4.18	0.27	2.16	-
N ₂	15.50	<0	-	Ti	6.82	0.39	3.95	1.6	K	4.34	0.30	2.22	0.8
N	14.53	0.54	3.0	Mo	7.10	1.3	4.29	-	Na	5.14	0.35	2.33	0.9
H ₂	15.60	<0	-	Mn	7.43	-	3.38	-	Ba	5.21	-	2.4	0.9
H	13.60	0.8	2.1	Ni	7.63	1.28	4.91	-	Li	5.39	0.616	2.38	1.0
O ₂	12.5	0.44	-	Mg	7.64	-	3.64	1.2	La	5.61	-	3.3	-
O	13.61	2.0	3.5	Cu	7.72	1.8	4.36	-	Ca	6.11	-	2.96	1.0
CO ₂	13.8	-	-	Fe	7.87	0.58	4.40	-	B	8.30	0.3	4.30	2.0
CO	14.01	-	-	W	7.98	-	5.50	-	I	10.45	3.17	2.8~6.8	2.4
HF	15.57	-	-	Si	8.15	1.46	4.80	1.8	Br	11.84	3.51	-	2.8
				Cd	8.99	-	4.10	-	Cl	13.01	3.76	-	3.0
				C	11.26	1.33	4.45	2.5	F	17.42	3.62	-	4.0

注：1. 表中的数值因资料来源不同，有些差异，仅供参考；

2. eV - 电子伏特。

二、焊接电弧的引燃方法

焊接电弧的引燃，一般有两种方法，即接触引弧和非接触引弧。

(一) 接触引弧

接触引弧是在弧焊电源接通后，电极（焊条或焊丝）与焊件直接短路接触，随后拉开3~4毫米而引燃电弧的方法。

由于电极和焊件表面都不是绝对平整的，只是在少数突出点上有着短路接触现象，如图 1-2 所示。通过接触点的短路电流比正常的焊接电流要大得多，而接触点面积又小。因此，电流密度极大，结果产生了大量的电阻热，使金属电极表面发热、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} 厘米左右，使其电场强度达到很大数值，约 10^5 伏/厘米左右。这么大的电场强度就是在常温下也足以引起自发射。同时，在强电场的作用下，又使已经产生的带电质点被加速运动，互相碰撞，产生了碰撞电离。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。由此，在阴极不断发射电子和两极间气体不断电离的情况下，电弧便引燃并燃烧起来。手工电弧焊、CO₂ 焊等焊接方法就是采用这种接触引弧的方式。

(二) 非接触引弧

它是指在电极与焊件之间留有一定的间隙，然后施以高电压（约 1000 伏左右），击穿

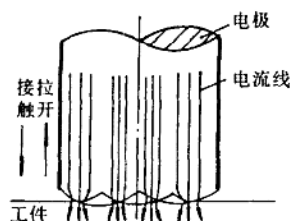


图 1-2 焊条与焊件短路时的接触状态

间隙而引燃电弧的方法。这种引燃电弧的方式需要依靠引弧器才能实现，一般采用高频高压和高压脉冲来引弧。非接触引弧主要用于钨极氩弧焊和等离子弧的焊接与切割。

第二节 焊接电弧的构造及其静特性

一、焊接电弧的构造及电弧电压

(一) 焊接电弧的构造

电弧沿着其长度方向分为3个区域，与电源正极所接的一端称为阳极区，与负极相接的一端称为阴极区，阳极区和阴极区之间的部分称为弧柱区，如图1-3所示。在阴极区和阳极区的内部各有一个明亮的发光部分，分别称为阴极斑点和阳极斑点。阴极斑点是电弧放电时集中发射电子的微小区域，而阳极斑点是电弧放电时集中接受电子的微小区域。阴极区的长度仅为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 厘米，阳极区的长度也只有 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 厘米。因此，电弧长度可以被认为近似地等于弧柱的长度。

(二) 电弧电压

电弧两端（两电极）之间的电压降称为电弧电压。沿着电弧长度方向的电位分布是不均匀的。在阴极区和阳极区，电位分布曲线的斜率很大，而在弧柱区电位分布曲线则较平缓，并可认为是均匀分布的。当弧长一定时，电弧电压的分布如图1-3所示。其中 U_y 是阴极电压降， U_w 是阳极电压降， U_z 是弧柱电压降。这3个电压降组成了总的电弧电压 U_h ，可用下式表示：

$$U_h = U_y + U_w + U_z$$

因为阴极区和阳极区在电弧长度方向的尺寸很小，可视阴极电压降和阳极电压降之和 a 为一定值。所以，上式变为：

$$\begin{aligned} U_h &= a + U_z \\ &= a + bL_h \end{aligned}$$

式中 b ——单位长度的弧柱电压降，一般为20~40伏/厘米；

L_h ——电弧长度（厘米）。

由于阳极电压降基本不变（可视为常数），而阴极电压降在一定条件下（指的是焊接电流、电极材料和气体介质等），基本上也是固定的数值，则弧柱电压降在一定气体介质下与弧柱长度成正比。显而易见，弧长不同，电弧电压也不同，弧长越长，则电弧电压越大。

二、焊接电弧各区域的热量及温度分布

电弧各部分所产生的热量是不同的。在电场作用下，从阴极斑点发射出来的电子迅速射向阳极方向，而电弧中的被电离的正离子则向阴极方向移动，如图1-4所示。它们的质量不

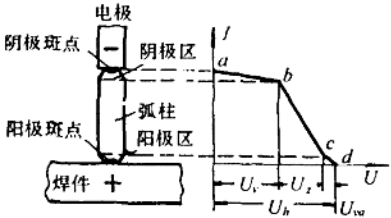


图1-3 电弧构造和电压降分布示意图

U_y - 阴极电压降； U_z - 弧柱电压降；
 U_w - 阳极电压降； U_h - 电弧电压

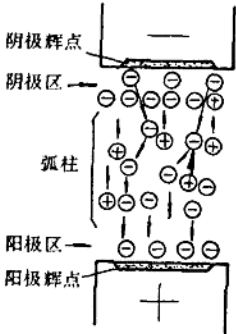


图1-4 电荷的运动方向