

造船焊接学

(修訂本)

Г. В. 別尔秋克、В. Д. 馬茨凱維奇著



國防工業出版社

造船焊接学

(修訂本)

Г. А. 別尔秋克、В. Д. 馬茨凱維奇著

李傳嘖譯 陈利华校

國防工業出版社

1963

內 容 簡 介

本书闡述了焊接的理論基础;介紹了化学焊、电焊和气体切割的各种方法,以及在造船业中应用的特点和所使用的工艺过程的知识。

本书第一版于1955年問世(中譯本于1957年出版)。此修訂本編者逐章作了修改和补充,其中着重地論述了焊接变形問題。

本书是高等造船学校学生的参考书,也可供造船工业的工程师和技术人員閱讀。

“СВАРКА В СУДОСТРОЕНИИ”

Г. А. Бельчук, В. Д. Мацкевич

Судпромгиз 1961

造 船 焊 接 学

李傳曦譯 陈利华校

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

850×1168¹/₃₂ 印張 127/8 353 千字

1963年8月第一版 1963年8月第一次印刷

印数: 001—800 册 定价: (10-4)2.20 元

統一书号: 15034·648

目 录

序	7
第一章 緒論	9
§ 1. 課程內容。焊接发展历史概况	9
§ 2. 焊接对船舶制造和船舶机械制造的意义及其应用的特点	14
第二章 焊接及钎焊方法的实质和分类	21
§ 1. 焊接的物理实质及焊接过程的分类	21
§ 2. 金屬钎焊	23
第三章 化学焊	25
§ 1. 化学焊接方法	25
§ 2. 气焊用的气体及其供給焊接站的方式	28
§ 3. 气焊火焰及气焊工艺	35
第四章 金屬氧气切割及加工	42
§ 1. 过程的实质	42
§ 2. 氧气切割种类	47
§ 3. 氧气切割机	51
§ 4. 金屬气焰加工的其它形式	57
第五章 接触焊	59
§ 1. 接触焊原理及其类型	59
§ 2. 接触焊机装置	65
§ 3. 接触对接焊	69
§ 4. 接触点焊	71
§ 5. 接触縫焊	74
§ 6. 焊接輕合金的特种脉冲焊机	76
第六章 熔化电焊	82
§ 1. 熔化电焊的种类	82
§ 2. 电弧	92
第七章 焊接电弧的电源	101

§ 1. 焊接电弧电源的特点	101
§ 2. 焊接站上具有降落特性的直流多站及单站设备	102
§ 3. 具有硬的外特性或上升外特性的直流单站焊接变流机	108
§ 4. 交流多站及单站设备	110
§ 5. 整流焊接设备	115
§ 6. 按造船厂条件选择电流种类及焊接设备	117
第八章 造船中采用的自动及半自动焊接设备	120
§ 1. 一般概念	120
§ 2. 焊剂下焊接的自动及半自动焊机	125
§ 3. 保护气体介质中的自动及半自动焊接设备	131
§ 4. 垂直焊缝的自动焊接设备	135
§ 5. 螺柱电弧焊接及塞焊缝(电钎焊)焊接的专用设备	137
第九章 焊接热基础	140
§ 1. 焊接热源	140
§ 2. 焊接热传导过程的计算原理	142
§ 3. 定功率移动的集中热源瞬时作用下的热传导	146
§ 4. 运用强大的快速移动热源的热传导	152
§ 5. 运用焊接热传导原理解决某些实际问题	154
§ 6. 焊条的加热与熔化	160
第十章 焊接冶金过程、焊接材料	167
§ 1. 焊接冶金过程特点	167
§ 2. 焊缝金属化学成分及机械性能改善和调整方法	171
§ 3. 电弧内焊条金属的过渡	179
§ 4. 金属在电弧内熔化和过渡时期的冶金过程	183
§ 5. 焊接熔池内的冶金过程	185
§ 6. 电渣焊冶金过程特点	191
§ 7. 电弧焊及电渣焊的焊接材料	192
第十一章 焊接接头的成形及其机械性能	202
§ 1. 焊接熔池的结晶、焊缝的成形及其粗视组织	202
§ 2. 焊接接头的显微组织	207
§ 3. 焊接接头的机械性能	209
§ 4. 焊接接头中裂纹的产生	214

第十二章 造船鋼焊接工艺与规范	219
§ 1. 焊接接头和焊缝形式及其选择	219
§ 2. 手工焊接工艺及规范	225
§ 3. 焊剂下自动焊及半自动焊工艺与规范	231
§ 4. 船体合拢对接头电渣焊工艺及规范	238
§ 5. 二氧化碳气体介质中的焊接工艺与规范	240
§ 6. 螺柱焊及电铆焊工艺与规范	241
§ 7. 船舶结构焊接方法选择的一般依据、各种焊接方法的 经济效果	243
第十三章 合金元素含量较高的钢材焊接工艺特点	250
§ 1. 焊接过程较复杂的淬火性碳素钢和合金钢的特点	251
§ 2. 造船用的含碳或合金元素较高的淬火性钢材焊接工艺	255
§ 3. 焊接特种性能高合金钢的复杂性	261
§ 4. 特种性能高合金钢焊接工艺	264
第十四章 鑄铁及有色金属焊接特点	267
§ 1. 鑄铁的焊接特点	267
§ 2. 有色金属的焊接特点	273
§ 3. 铜和铜合金的焊接	274
§ 4. 铝及铝合金的焊接	276
§ 5. 钛、锆及铌的焊接特点	281
第十五章 焊接应力与变形的一般概念	285
§ 1. 焊接应力问题及其研究	285
§ 2. 焊接应力与变形的分类	286
§ 3. 金属受热时机械特性的变化	291
§ 4. 均匀受热杆件的变形和应力	293
§ 5. 圆点加热时发生的应力	299
第十六章 纵向应力与变形	305
§ 1. 沿钹条加热—线条所引起的纵向应力	305
§ 2. 钹条加热和冷却时的变形	309
§ 3. 相对收缩体积的近似求法	315
§ 4. 焊缝纵向收缩变形的确定	320
第十七章 横向变形与应力	326

§ 1. 焊縫橫向收縮引起的平面內變形的確定.....	326
§ 2. 橫向應力.....	332
第十八章 角變形	341
§ 1. 構件由於焊縫橫向收縮而引起的彎曲.....	341
§ 2. 鈹材由於焊縫橫向收縮而引起的角變形.....	344
§ 3. 鈹材由於喪失穩定性而引起的變形.....	349
第十九章 船體結構裝配和焊接的基本原則	353
§ 1. 船體構件的焊接.....	353
§ 2. 船體分段及總段的裝配與焊接.....	362
§ 3. 建造區的船體裝配和焊接.....	367
第二十章 船舶結構中焊接接頭的质量檢驗	371
§ 1. 焊接接頭的缺陷.....	371
§ 2. 發現焊縫及焊接接頭中缺陷的方法.....	374
§ 3. 造船廠焊接作業的一般檢驗組織.....	384
第二十一章 焊接接頭和焊接結構的若干強度問題	387
§ 1. 焊接接頭靜載強度.....	387
§ 2. 焊接接頭的疲勞強度.....	392
§ 3. 焊接殘余應力與變形對焊接結構靜載強度及疲勞強度的影響.....	394
§ 4. 焊接船舶結構的破損及其分析.....	402
§ 5. 低溫對焊接接頭強度的影響.....	407
§ 6. 焊接接頭的抗腐蝕性.....	408
參考文獻	411

序

本教学参考书是按照苏联高等造船学校“造船及修船”专业“焊接”课程大纲编写的，但也可供上述学校机械制造专业使用。该课程根据大纲应包括全部焊接问题，所以内容涉及的面较广，它既包括焊接的物理基础，又讨论了焊接设备和船舶结构的焊接工艺。本书主要在于阐述电弧焊——手工焊及自动焊，因为电弧焊在现代的造船中乃是一项主要的工艺过程。其它焊接方法——接触焊、气焊等——则讲述得比较简要，只是从造船中采用这些方法的可能性来加以讨论。根据大纲要求，书中还扼要地介绍了有关焊接和切割设备的知识。

本书着重地介绍了焊接变形问题，因为建造尺寸甚大而材料相当薄的船舶结构时，防止发生变形，会使船体建造的整个工艺过程大为复杂。

本教学参考书是由科学技术硕士 I. A. 别尔秋克副教授和 B. Д. 马茨凯维奇——列宁格勒造船学院“船舶结构焊接”教研組教师——合編的。第一章至第四章、第六章、第十五章至十九章由馬茨凱維奇編写的；第五章、第七章至十四及第二十章由別尔秋克編写的；第二十一章由两著者合編。本版与 1955 年的第一版相比，所有諸章都作了修改和补充。

作者向給该书第一版以及本版手稿提供意見的机关和个人致以深切的謝忱。

作者怀着感激的心情接受有关該书的所有意見。

第一章 緒論

§1. 課程內容。焊接发展历史概况

凡能获得不可分离的接头,其特征是使原子之間发生結合,因而組織上是連續的,此种工艺过程称为焊接。

所有現代化的金屬結構,有的是全部焊接而成,有的是大部分采用焊接制成的。近几年来也有用焊接来制造塑料制品,玻璃制品以及其它材料的制品。

焊接通常依靠同时加热和加压,或依靠其中之一来实现。按照加热所用的能源类型,焊接方法可以分为数种,下面将逐一加以討論。应用最普遍的为电焊,在許多工程部門中,电焊法已代替了其它連接零件的方法了。

从科学的观点而論,焊接是一門应用技术的学科,它建立在很多有关的科学基础上,如物理学、化学、金相学、材料力学等。苏联对金屬焊接問題在进行研究。苏联乌克兰科学院設立了專門的电焊研究所。此外,在国家科学机关和高等学校內設有焊接部門和焊接教研組。大多数高等工业学校还開設焊接专业课程,設置了培訓焊接技術人員的科系。

这样对焊接人才的培訓,一方面是由于工业上广泛采用了焊接,另一方面也是由于焊接过程本身很复杂,要想順利地采用焊接,便需要具有一定的文化技术和知識。显然,在制造某种結構时,为了能成功地使用焊接,还須遵循許多条件:各个部件应当选择适当的接头形状,应預先标出結構的装配和焊接程序,应当选用适当的焊接材料等。不遵守这些条件中的某一項,都可能使結構不合乎要求,变成无用——发生变形、强度不足、造价高昂或制造复杂。所以在焊接課程中,除了闡明焊接过程的实质和采用

的设备等基本知識外，还闡述了各种材料的焊接工艺，焊条和焊剂的化学成分，焊接接头某些强度数据，焊接质量的檢驗方法等問題；最后还应介紹一些結構由于焊接而发生的应力和变形方面的知識。

在以后的专业課程中，这些基本知識将根据某一定类型的工程构筑物——船体、船舶机械或鍋炉等——再加以具体化和发展。总之，年青的工程师——造船师和机械师——在焊接这一学科上应受到認真而又全面的培訓，使之在自己的生产事业中能够順利和有效地运用它。

很早已前，人类就已經知道了焊接是固体金屬零件紧密連接的一种方法。还在人类学会了熔炼以及在热状态利用錘鍛加工铁的时候(約在紀元前四千年左右)，他們就已經采用了焊接，开始是广泛用来将个别金屬小块或金屬片連接成整块的坯錠，以后用来将各种金屬工件彼此連接起来。

制造铁錠的过程，就已經包括了压力焊或“鍛焊”，这种形式直到目前几乎沒有改变。鍛焊是将要連接的部件表面加热达到“焊接溫度”，然后置于铁砧上用錘捶鍛連接的部位。

数百年来，此种方法是唯一的一种焊接方法。只在十九世紀才产生了新的方法——“鑄焊”。鑄焊实质上是鑄造工艺过程的另一种形式。

以后出現了电弧焊法了，它是俄国发明的，在今日已得到普遍推广。

彼得堡外科医学院的物理教授瓦西里·符拉基米洛維奇·彼得洛夫于1802年发现了电弧現象后，就指出利用电弧熔化金屬，即用来焊接的可能性。此一发现在科学上和工业上都是有着巨大意义的，但由于当时技术发展水平普遍低落，其同代的人們也未能給予应有的評價和利用。

利用电弧来焊接金屬也是俄国的发明家尼古拉依·尼古拉也

維奇·貝納多斯于1882年實現的。貝納多斯方法的實質是在焊件和碳棒(電極)之間通以電流,使之產生電弧,電弧將工件的表面熔化,而將棒狀“填充”金屬伸入電弧內,它便隨之熔化,並將焊接的地方填滿。

貝納多斯提出的手工電弧焊接法的簡圖示于圖1中,他當時稱此法為“電鍛神”^①。在初期的裝置中,電弧是用專門的蓄電池組作電源,這也是貝納多斯創造和提議的。以後焊接電弧才開始用由特种直流電焊机作電源。

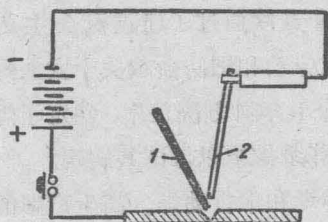


圖1 貝納多斯焊接法簡圖:

1—填充金屬; 2—碳極。

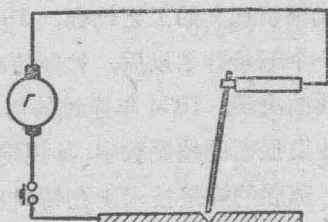


圖2 斯拉汶諾夫焊接法簡圖。

1890年俄國另一位發明家尼古拉依·蓋夫雷洛維奇·斯拉汶諾夫工程師提出了另一種電弧焊接法,利用填充金屬本身,即利用金屬棒代替碳棒作為電弧的另一極。電極和工件串聯在特种直流電焊機的電路上,此種焊接方法的簡圖示于圖2中。

斯拉汶諾夫的電弧焊接法的应用較貝納多斯的方法普遍。斯拉汶諾夫方法的所有焊接工作都是利用熱焊法進行的,即將工件預先加熱而進行的,此時,焊接熔池的表面都維持在熔化狀態。為了避免金屬流溢,需將工件置于型砂中造型,因此斯拉汶諾夫稱他的方法為“金屬電鑄”,而稱焊工為“鑄工”。

為了使焊接時的弧長保持不變,斯拉汶諾夫創造和實現了一種將金屬焊條送入電弧的靈巧半自動裝置。這種裝置用鏈條懸挂

① 電鍛神——神話中的神,鐵匠、手工藝人的護佑者。

在焊件的上方。

斯拉汶諾夫將他的發明進一步改進後，於 1890—1891 年便在許多國家中取得了專利權。

所有現代的金屬結構可利用焊接來建造。例如，車輛、鍋爐、金屬建築結構、水力工程建築、氣體管道和石油管道以及許多其它重要結構都是利用焊接製成的。海船和內河船舶也都按全焊結構而設計及建造。

焊接是先進的生產方法，大有發展前途，可把它看成是具有國民經濟意義的工藝過程。1929 年蘇聯通過了建設社會主義的第一個五年計劃以後，曾經頒布過勞動和國防會議關於發展焊接事業的決議。1934 年通過的第二個五年計劃決議中，確定了焊接事業發展新的控制數字，並規定了許多措施以保證其實現。

蘇聯的焊接技術正在轉向自動焊和半自動焊。高生產率的焊接過程，如強制成形的垂直自動電弧焊、電渣焊、保護氣體中的自動焊等，已被採用。

應當指出，自動焊如同手工焊一樣，也是俄國發明的。第一部自動焊機的設計創自貝納多斯，而斯拉汶諾夫的上述裝置實際上就是半自動焊機。但是由於向電弧送絲的自動化很簡單，與手工焊比較，對生產率的提高還是不大的。焊接過程的根本改善只有轉變到埋弧的自動焊，即電弧在焊劑下燃燒之後，才能達到目的。

焊劑下焊接的想法也是斯拉汶諾夫提出的，為了提高焊縫的質量，他介紹過向電弧區撒放含有鐵合金的搗碎的窗用玻璃。蘇聯的發明家杜利切夫斯基於 1929 年獲得了銅在焊劑下焊接法的發明證書。

工業上應用的明弧自動焊機，還在 30 年代初期就開始由列寧格勒“電工”工廠生產了，以後該廠又致力於製造焊劑下焊接的自動焊機。蘇聯最新式的焊劑下焊接法的廣泛發展，應當歸功於烏

乌克兰社会主义共和国科学院电焊研究所^①的社会主义劳动英雄、科学院院士叶夫盖尼·奥斯卡洛維奇·巴頓(1869—1953)領導下的全体科学工作者。此种方法無論是在焊接过程的生产率方面,还是获得稳定的高质量焊缝金屬方面,其优越性都远胜于手工焊。

自从創造了焊剂下的焊接法,并且此法經過改进以后,苏联人民委员会及联共(布)中央委员会于1940年12月20日頒布了在生产中推广采用此一方法的決議,1947年政府又頒布了在工业中进一步推广焊剂下自动电焊的決議。

在海洋船舶和內河船舶的建造中可以看到苏联焊接事业发展的成果。造船和修船中开始采用电焊还是它的发明者斯拉汶諾夫提出的。他所著的“金屬电鑄”一书中,介紹了他完成的各項焊接工作^②,其中有很多工作是屬於修船和制造船舶机械零件以及船舶装置方面的。

在斯拉汶諾夫作了这些工作后,电焊便在俄国許多工厂中有效地用来修理重要的結構了。

在苏联对焊接发展起着巨大作用的还有維克脫·彼得洛維奇·沃洛金(1883~1950),他于十月革命后的20年里,在海參威的以伏罗希洛夫命名的远东工厂內第一个恢复了斯拉汶諾夫焊接法。工厂在他的领导下首先进行修理性的焊接工作,而1923年便建立了独立的焊接車間;1928年在該車間內就已經制造出第一批焊接的蒸汽鍋炉和焊接了許多重要的建筑結構,而且于1931年建成了第一艘电焊船舶——海洋拖輪。伏洛金的这些經驗很快地便在苏联內地各工厂內普遍推广。

1933年伏洛金領導过苏联造船工业管理局的焊接所。由于他的倡导和坚持,电焊便自1930~1931年开始在苏联各造船厂內

① 以后簡称电焊研究所。

② 斯拉汶諾夫总共完成了1631項焊接工作,消耗填充材料(焊条)总计685普特。

采用,而且也开始全面地用来建造船舶。

1935年在列宁格勒曾建成苏联的第一艘半焊接的大型海洋蒸汽輪“塞道夫”号;与此同时,許多工厂也开始建造焊接的船塢,在里海航行的輪船,貨駁以及其它全部焊接的船舶。从1939年起內河船队人民委员会特別指令禁止建造鉚接船舶,所有船舶一律只能用焊接来建造。偉大的卫国战争初期,鉚接差不多全部被焊接所代替,而且在战争年代里已經只建造焊接的兵艦及船舶,其中有許多还胜利地参加过一些战役。

許多新的高生产率焊接法的創造,也促进了造船事业的发展,这些方法将在后面介紹。

§ 2. 焊接对船舶制造和船舶机械制造 的意义及其应用的特点

苏維埃的造船事业远在战争时期就已經使船舶的建造由鉚接完全轉为焊接。此一轉变的意义,可与十九世紀中叶从建造木壳船轉变到建造铁壳船相提并論。

建造焊接船舶的轉变,以及在船舶設備、机械和鍋炉的生产中普遍采用焊接,获得了很高的技术經濟效果。

各种設備以及各种机械由于采用了焊接,从而能建造現代化的結構形状;保证整体性(紧密性),并使变截面中的变化婉順;容易消除应力集中現象;能充分利用材料等。

采用鑄造以及鉚接中有关的許多限制,在焊接結構中不复存在。例如鑄造結構中的支壁必須要保證有一定的厚度,因为薄壁鑄件难以被液体金屬澆到,而且冷却时在厚度大小不一的过渡地方很可能裂开。若是采用焊接,那么此种对于厚度的限制便不复存在。

在同一焊接結構中可以采用数种不同的材料,而且仍然能保持紧密。例如,在零件受磨損的部件上可以堆焊耐磨材料,在結構

承受高应力的区域上可焊上强度較高的材料等。机械制造中一些复杂的結構,若采用焊接便可将各个鑄件和鍛件連接在一起,从而可大大降低制造成本,而且也使結構变得簡單。

与鉚接方案相比,由于能充分利用材料(材料上无鉚釘孔,所以不致削弱)和无連接构件以及搭口存在,因而使焊接結構的重量減輕。为了便于比較,在图3中举出了大型海洋运输輪的甲板下纵横交叉梁同一节点处的鉚接結構和焊接結構。

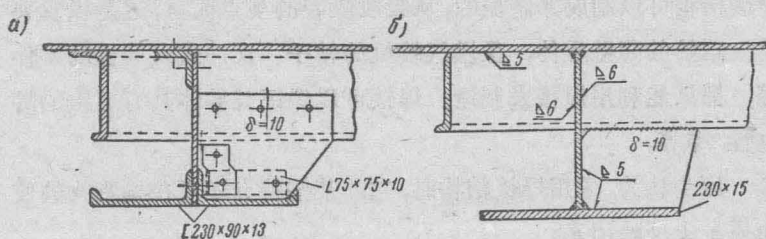


图3 甲板下纵桁和横梁交叉节点处的結構比較:

a—鉚接的; b—焊接的。

焊接船体的重量比同样的鉚接船体要減輕 15~20% 以上。此种重量減輕的数据只能认为是大概的(它与采用怎样的結構,結構設計成何种形式有关)。焊接結構虽然可使重量減輕,但制造焊接結構的劳动量不一定低于鉚接結構,然而現代的焊接船舶和焊接的机械結構,由于有可能使制造的过程自动化,因而总是显得便宜些。

需要补充的是,焊接結構中所要求的材料品种,如軋制的型钢,便比制造鉚接結構所要求的少得多。

采用焊接可使結構的强度提高,因为焊缝是一整体結構中的一个組成部分,它的机械性能可与基本金屬相等或稍高些。焊接結構由于是整体的,所以焊接就可保证两交叉构件的連續性。例如,船体中相互交叉的焊接梁便可看成是連續的。

焊接接头的不渗透性能使容器或船艙避免浸入水气或漏水;

可保证贮存可燃性液体或气体的容器免于发生爆炸。因此，建造焊接的船体时，就无必要像铆接船舶一样設置許多隔离空艙。

当結構一旦碰撞或因过载等而发生残余变形时，焊接接头一般仍能保持不会渗透；铆接接头在此种情况下，由于会发生铆接縫崩裂，以致会很快浸水。焊接結構若是损坏或爆炸时，由于其强度較高，故比铆接結構在維持不致渗透方面也較好些。

采用了焊接还可能得到其它一系列新的性能和优点。例如，焊接結構可以制成非諧振的，从吸收噪音的观点而言，这是极重要的。耐热的薄壁零件，像燃气輪机的轉子、反冲式发动机的零件等，都只能利用焊接来制造。焊接可以保证长导体具有連續的导电性，等等。

应当认为，采用焊接結構时，它的某些特点还可在构筑物的使用质量上反映出来。

焊接的部件有着較高的剛性，因为它的各个构件是被相同的焊着金屬剛性地連接起来的，这就有可能使接头避免出现铆接接头中所常发生的局部剪切应力，而且使其中的应力比基本金屬的屈服点低些。焊接接头在彈性阶段內作功时，由于沒有局部剪切存在，所以不可能发生应力的重新分配；結構中邻近的未受載荷部分由于不是全部参予作功，因而受載部分內产生了局部应力。例如，隔艙壁或船舶的其它盖板进行水压試驗时，可以发觉到焊接的結構剛性較高。若水头相等，截面几何特征相同，焊接結構的扶强材跨度中央处的撓度便比铆接的小些。但焊接的隔艙壁扶强材的固定端由于支撑力矩的作用，其中所产生的应力便較铆接的高些。

設計焊接結構时，应在計算中适当提高固定系数和减小容許的計算撓度来考虑其节点的剛性。

由于焊接結構剛性較高，故对于热作用变得敏感。受有应力作用的結構于不均匀加热和冷却下，有时会发生裂縫。在有应力集中的区域內，发生裂縫的危險性就更大，裂縫受着力綫作用而蔓