

焊工培训 教材

林宏源 游耀盘

**HAN GONG
PEIXUN
JIAOCAI**

福建科学技术出版社

责任编辑：谢聿枫

焊工培训教材

林宏源 游耀磐

*

福建科学技术出版社出版

(福州得贵巷27号)

福建省新华书店发行

福建新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 12.125印张 263千字

1986年3月第1版

1986年3月第1次印刷

印数：1—24,950

书号：15211·72 定价：2.18元

内 容 提 要

本书是在总结几年来对焊工进行培训考核经验的基础上编写而成的。

本书以手工电弧焊、氩弧焊和气焊、气割为重点，全面讲解焊材、焊接规范、变形、应力和焊接缺陷等焊接知识；详细介绍各种焊接操作要领、焊接工艺评定知识；并结合生产和维修工程实际，阐明一些典型的锅炉、压力容器的焊接、校正、补焊等操作工艺。

本书图文表格参数并举，理论和实践兼重，深入浅出，通俗易懂。可作为焊工培训考核及复试提高和技校焊接专业教材；亦可供焊接设计、工艺人员，无损检测人员和工厂企业领导参阅。

编 者 的 话

几年来，在锅炉、压力容器制造厂的制造资格审查工作中，我们发现，培养一支训练有素、技术过硬的焊接专业队伍（包括焊接工程技术人员和持证焊工）是十分必要的。有无这样一支队伍，将会直接影响到锅炉、压力容器产品的质量。而且实践证明，培养一位合格的持证焊工需要耗费很大的精力、投资和时间，因此我们认为必须尽早地、经常地从基础理论知识和操作技能两方面，对其进行严格的培训。

为此，近几年来在加强锅炉压力容器安全监察工作的同时，有关单位先后开办了三十余期焊工培训班，培训、考核了千余名压力容器焊工，培养了一批骨干力量。但就持证焊工的人数和合格的项目来说，还远不能满足“四化”建设的需要。

《焊工培训教材》一书，既是对过去一段时间内的焊接工作和焊工培训工作的总结，又是为今后更加深入地开展焊工培训和持证焊工复试提高的需要而编写的。

本书广泛收集有关资料，注意焊接各知识领域之间的内在联系；力求结合焊接施工实践，深入浅出、图文相成地介绍钢材的基础知识，锅炉、压力容器常用金属材料，焊接工艺、规范，应力与变形，焊接缺陷及其危害性、检验方法和防患措施。

本书以介绍手工电弧焊为主，详细讲解了气焊、气割、氩弧焊等焊接方法，焊接设备，焊材及其选用，焊接工艺和各

种空间位置的焊接操作要领；特别是结合我国现行的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》及其“实施细则”和《压力容器安全监察规程》等有关法规的要求，介绍了焊接工艺评定试验和实际焊缝质量检验、检修（补焊）的规定、要求和实施方法。本书可作为焊工培训的基础教材，也可作为Ⅱ级无损检测人员的基础教材，中专、技校焊接热处理专业的参考书和工厂企业领导、中级焊接工程技术人员的手头资料。

“焊工培训教材”一书的编写、出版，承蒙福建省劳动局锅炉压力容器安全监察处、福建省锅炉压力容器学会的指导和支持，在此表示谢忱。由于编者经验不足，水平有限，书中不当之处亦在所难免，恳请诸位专家、师傅和广大读者给予批评指正。

编者 1985年5月于福州

目 录

编者的话

第一章 绪论	(1)
第一节 焊接的概念和分类	(1)
第二节 焊接结构的优、缺点	(4)
第三节 焊接技术的发展	(4)
第二章 金属学基础知识	(7)
第一节 金属材料的性能	(8)
第二节 金属的晶格构造及结晶	(21)
第三节 合金的结构	(30)
第三章 锅炉、压力容器常用金属材料	(33)
第一节 概述	(33)
第二节 锅炉、压力容器用钢的一般要求	(34)
第三节 钢的分类	(36)
第四节 钢中常存杂质对性能的影响	(37)
第五节 合金元素对钢的性能的影响	(39)
第六节 工业锅炉用钢	(42)
第七节 压力容器用钢	(45)
附 注 我国钢号表示方法	(53)
第四章 焊接材料	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 电焊条及其分类	(56)
第五章 手工电弧焊	(80)

第一节	焊接电弧及焊接冶金特点	(80)
第二节	焊接接头组织	(90)
第三节	手工电弧焊工艺	(107)
第四节	手工电弧焊操作要领	(137)
第五节	手工电弧焊设备	(170)
第六章	气焊与气割	(194)
第一节	气焊、气割用气体及焊接材料	(194)
第二节	气焊工艺	(197)
第三节	气焊操作要领	(207)
第四节	气割	(215)
第五节	气焊、气割的工具和设备	(224)
第七章	氩弧焊	(235)
第一节	氩弧焊概述	(235)
第二节	氩弧焊电极	(237)
第三节	电源种类与极性选择	(240)
第四节	引弧方法	(241)
第五节	影响氩气保护作用的因素	(242)
第六节	焊接规范的选择	(248)
第八章	金属的可焊性与工艺评定	(255)
第一节	金属的可焊性研究	(255)
第二节	焊接工艺评定	(266)
第九章	焊接应力与变形	(269)
第一节	焊接热过程	(269)
第二节	焊接应力及其产生原因	(274)
第三节	焊接变形	(283)
第十章	常见的焊接缺陷	(292)
第一节	概述	(292)

第二节	外部缺陷.....	(293)
第三节	内部缺陷.....	(299)
第十一章	焊缝质量的检验.....	(311)
第一节	非破坏性检验.....	(311)
第二节	破坏性检验.....	(332)
第十二章	检修补焊.....	(340)
第一节	补焊前的准备工作.....	(340)
第二节	补焊方案的确定原则.....	(341)
第三节	补焊工艺举例.....	(350)
第十三章	焊接安全技术和劳动保护.....	(364)
第一节	焊接安全技术.....	(364)
第二节	焊接劳动保护.....	(370)

第一章 绪 论

在金属结构和机械、造船、航天等工业中，经常需要将两个或两个以上的零（构）件联接在一起，并保证有足够的联接强度。按照其特点，通常可将联接分成两大类：一类是可拆卸的联接，即拆卸时零（构）件基本不会破坏。如螺栓、键、销钉等联接；另一类是永久的联接，拆卸时，零（构）件或联结件会遭到损坏，否则就拆不下来。如铆接、焊接、胶接等。半个世纪以前，在金属结构制造中，零（构）件间的联接主要是采用铆接工艺，现在焊接结构已是十分普遍了。

第一节 焊接的概念和分类

一、焊接的定义

使两个或两个以上的零（构）件，通过原子间或分子间的联系与质点的扩散作用，形成一个整体的过程称为焊接。

要使两个分离的零（构）件形成永久性的结合，首先应使两个零（构）件互相接近到原子间的力能够产生相互作用的程度。这对液体来说是很容易的，但对于固体则需要外部给予很大的能量，才能使固体间的接触表面达到原子间的力能够产生相互作用的程度。焊接技术就是采用加热、加压或加热同时加压等方法，来促成原子之间的结合，以达到永久、牢固的联接。

表 1-1

焊 接	熔 化 焊	气 焊
		电弧焊 { 手工电弧焊 埋弧自动焊 埋弧半自动焊
		铝热焊 电渣焊 等离子焊 电子束焊 气体保护焊 { CO ₂ 气体保护焊 惰性气体保护焊 氢原子焊
	压 力 焊	激光焊
		锻 焊 摩擦焊 气压焊
		接触焊 { 点焊 缝焊 (滚焊) 对焊
	钎 焊	冷压焊 超声波焊 爆炸焊
		烙铁钎焊 火焰钎焊 盐浴钎焊 电接触钎焊 炉中钎焊 高频钎焊 反应钎焊 真空钎焊 扩散钎焊

二、焊接的分类

根据不同的加热、加压的方法，焊接时的工艺特点和基本金属所处的状态，可以把焊接方法分成熔化焊、压力焊和钎焊三大类。详见表1—1所列。

用某种能源加热使构件联结部分熔化，变固态接触为液态熔融状态接触，以利于形成原子间结合的方法如气焊、电弧焊、气体保护焊、等离子焊、电子束焊等，这些方法统称为熔化焊。

将两块金属构件联结部分加热到塑性状态或表面局部熔化状态，然后施加极大的压力，致使两构件形成原子间永久性的结合的方法，如锻焊、接触焊、摩擦焊和气压焊等统称为压力焊。

对金属构件不仅加热而且加以足够的压力，如冷压焊、爆炸焊和超声波焊等也属于压力焊的一种。

钎焊理应归入熔化焊，过去的一些教材也都是这样分类的。因为钎焊的机理是通过熔化的钎料与钎焊金属表面的溶解和扩散作用而形成接头的。但是与熔化焊也有些差异，那就是钎焊金属本身不熔化。近年来，随着钎焊技术的发展，它不仅可用于联结金属，还可以用于联结玻璃、塑料、陶瓷、硬质合金等非金属材料，逐渐形成了一个独特、完整的联接工艺，所以近年来作为焊接工艺的独立分支——钎焊而独列一类。

此外，在金属结构的制造中往往需要将大块的金属，切割成所需求的形状、尺寸。目前主要采用氧——乙炔切割和等离子切割两种方法。其机理实质并非焊接，但习惯上把切割和碳弧气刨也归入焊接技术中。

近年来随着化学工业的发展，已采用各种各样的化学粘

结剂实现金属与金属、金属与非金属、非金属与非金属构件间的联接，如全胶接飞机的出现就是最好的例证。

第二节 焊接结构的优、缺点

一、优点

焊接结构与铆接、锻件、铸件相比，具有以下明显的优点：

1. 焊接结构重量轻，节省金属。根据大量的工程统计证明，它比铆接结构可以节省金属15~20%；比铸铁件节省金属30~40%，比铸钢件节省金属30%左右；

2. 焊接接头的强度比铆接、铸件结构的强度高得多，而且接头的密封性好；

3. 焊接结构劳动量小，生产率高，加工和装配方便、容易；

4. 焊接时噪声小，劳动条件好；

5. 容易实现机械化和自动化。

二、缺点

1. 焊接容易引起残余变形和焊接内应力。必须十分讲究焊接工艺，对于一些钢材和要求很高的重要承力构件必须进行焊后热处理，以消除内应力；

2. 焊接方法除热辐射之外，还会产生强光和有害气体、烟尘，必须采取相应的劳动保护措施，以保护焊工的身体健康。

第三节 焊接技术的发展

焊接技术是一门古老的科学。我国是世界上最早应用焊

接技术的国家之一。远在二千多年前的战国时期，就有一些钎焊联结的金属制品。如在河南辉县出土的玻璃阁墓中的殉葬铜件的本体、耳、足都是用钎焊联结制成的。另有历史文献记载，宋代科学家沈括所著的《梦溪笔谈》一书，就提到了焊接方法。其后，明代科学家宋应星所著《天工开物》一书，对锻焊和钎焊技术作了详细的论述。如“凡铁性逐节粘合，涂黄泥于接口之上，入火挥锤，泥渣成枵而去，取其神为媒合，胶结之后，非灼红斧斩，永不可断也。”证明当时已经懂得在锻焊时使用熔剂，以获得质量较高的焊接接头。又有记载道：“凡钎铁之法，……小钎用白铜末，大钎则竭力挥锤而强合之”，还有“用响铜末者为大焊，用锡末者为小焊”的记载，充分说明了我国是文明的古国，我国的劳动人民是勤劳智慧的，早在数千年以前就已在生产中掌握了至今还大量使用的铜、银、锡及其合金的钎焊方法。

解放以前，我国沦为半封建、半殖民地社会，焊接技术和其它工业生产一样，水平很低，为数很少的手工电弧焊和气焊，也仅用于修补工作，而所需的焊接设备和焊接材料，基本上依靠国外进口。

解放以后，我国的焊接技术发展很快。许多高等院校开办焊接专业，成立焊接研究所和焊接学会，培养造就了大批焊接工程技术人员和优秀的高压容器焊工。使得焊接技术在国防、造船、化工、石油、冶金、电站、建筑、桥梁、车辆、机械以及宇航、海洋开发等方面发挥着极其重要的作用。

1957年我国开始自行生产低氢型焊条，一些主要的焊接设备也已成批生产，自动及半自动埋弧焊工艺在生产中也获得了广泛应用。

1958年，我国用电渣焊造出了12000吨水压机的大型部件；自行设计制造了各种型号的自动焊机、接触焊机、电渣焊机、氩弧焊机以及真空电子束焊机和等离子切割机等一百多种焊接设备，生产了各种型号的焊条、焊剂和焊丝等，结束了对先进资本主义国家的依赖的历史。

六十年代以来，人造卫星上天，原子能工业的发展，第三代电子计算机的诞生，5万吨远洋油轮“西湖”号的胜利下水，30万千瓦双水内冷气轮发电机组的投入运转，大庆到秦皇岛一千多公里全焊螺旋形输油管路的铺设，许多大型球形容器的制造，以及许多钢结构高层建筑的矗立等，其中焊接技术都是不可缺少的主要工艺之一。制造了产品，锻炼了人材，进一步促进了焊接技术的发展。近年来，等离子焊接、窄间隙焊接、电子束焊接、激光焊接、超声波焊接、爆炸焊接及高真空钎焊等新工艺均已在生产实践中获得了应用。

从1880年出现碳弧焊到现在的一百多年里，国外已有50余种焊接方法应用于生产实践。与世界先进的焊接技术相比，我国的焊接技术水平还不高，我们还必须努力，不断地攀上新的技术高峰，为我国实现四个现代化而贡献力量。

第二章 金属学基础知识

金属学是研究金属及其合金的结构与性能之间关系的科学。也就是说，金属学揭示的是，什么样的成份和组织便具有什么样的性能，以及组织的形成、变化和处理条件之间的关系的规律。在研究了这些规律的基础上，通过改变和控制合金的成份，采用恰当工艺来获得需要的金相组织，以提高合金的性能或研制具有新性能的材料。

金属学研究的具体内容可包括下列三方面：

1. 金相学——狭义的金属学，也就是研究合金相图。用放大镜和显微镜来研究金属及其合金的组织结构和相变规律；

2. 热处理——把金属或合金加热到某一给定的温度并保持一定的时间，然后用选定的速度和方法使之冷却以得到所需要的显微组织和性能的操作工艺；

3. 金属材料——研究金属及合金的成份、组织及性能之间的关系和它们的用途。

金属材料的性能取决于外在条件和内部因素。金属材料的化学成份和组织是决定其性能的两个内在因素。材料的化学成份不同则性能不同，但是，即使成份相同，若因加工的方法不同，使其获得不同的组织，金属材料的性能也会不同。金属材料在加工或使用的条件下，所处的温度、应力状态、受力的速度及介质的物理、化学性能等是影响金属材料性能的外在条件。而这些外在条件对金属材料性能的影响一

定要通过内在因素才能起作用的。因此，要能合理地使用材料，发挥其潜力，必须了解、掌握金属材料的成份、组织和性能之间的关系。只有正确掌握金属及其合金的结构和性能，才能正确地制定铸造、压力加工、焊接、切削加工等加工工艺，合理地选择和使用材料，从而延长零件的寿命，降低零件的成本以及研制出具有各种不同的物理、化学和机械性能的合金。

对于从事焊接专业工作的工程技术人员、焊工来说，金属材料，尤其是黑色金属中的钢是焊接的主要对象，掌握钢材的成份、组织和性能之间的关系的规律，可以为正确选用焊接材料、编制焊接工艺提供理论上的依据，并运用这些知识，可以了解、分析焊接过程中的某些规律，分析缺陷产生的倾向和原因，提高焊缝质量，更好地从事焊接工作。

为了使读者更便于理解金属学知识的普遍性，把较为抽象的理论内容具体化，增强系统性和实用价值，拟将铁碳合金状态图、钢的热处理和焊接接头的金相组织三节内容，结合到第三章锅炉、压力容器常用金属材料中讲解。

第一节 金属材料的性能

金属材料的性能，一般分为两类：一类是使用性能，它反映金属材料在使用过程中所表现出来的特性；另一类是工艺性能，它反映金属材料在加工制造过程中的各种特性。使用性能包含有机械性能、物理性能和化学性能，它们决定了金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命；而工艺性能则决定了金属材料制造零件时的难易程度。

一、金属材料的物理性能

物理性能包括比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性。

1. 比重

单位体积金属材料的重量，称为该金属的比重。用 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2-1)$$

G ——物体的重量（克）；

V ——物体的体积（厘米³）。

各种金属材料的比重不同。同等体积下，比重愈大的材料，其重量也就愈大。对于飞机、机车、汽车等交通工具，为了增加有效载重量和减少燃料消耗，在满足使用性能的条件下，应尽可能采用比重小的金属材料。

根据比重的大小，可以将金属分成轻金属和重金属两大类。凡比重小于5的金属称为轻金属，比重大于5的金属，则称为重金属。几种常见金属材料的比重列于表2—1。

表2—1 常见金属材料的比重

名称	比 重	名称	比 重	名 称	比 重
镁	1.7	铜	8.89	白口铁	7.2~7.5
铝	2.7	银	10.5	钢	7.8~7.9
锌	7.19	铅	11.3	黄铜	8.5~8.6
锡	7.3	金	19.3	青铜	7.4~9.2
铁	7.85	铂	21.45	铝合金	2.55~3.00
镍	8.9	灰口铁	6.8~7.4	镁合金	1.75~1.85