

焊工培训教材

《焊工培训教材》编写组



内 容 提 要

本书根据焊工工作的需要，着重介绍了钢材的基本知识，焊接冶金原理，手工电弧焊的焊条、焊机和焊接工艺，常用钢材的焊接性能和焊接方法；同时还介绍了气焊和气体保护焊，铸铁和铝、铜等有色金属的焊接，以及焊接应力与变形，焊后热处理工艺，焊接缺陷与质量检验，焊接安全技术等知识；结合电力生产，还介绍了一些重要设备及零部件的补焊工艺。全书共分十四章和五个附录，有插图130余幅。为了便于培训和自学，各章末还列有思考题。

本书可作为技工学校和焊工培训班的教材，也可供焊工自学之用。

焊 工 培 训 教 材

《焊工培训教材》编写组

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.5印张 252千字

1980年12月第一版 1980年12月北京第一次印刷

印数 00001—70170册 定价 1.00元

书号 15036·4157

前 言

为了适应“四化”建设的需要，加强焊工的培训，我们从焊工的实际需要出发，在广泛收集资料的基础上，编写了这本《焊工培训教材》。

在编写本书时，我们注意了焊接专业各项知识的内部联系，并努力做到理论联系实际。全书可分为两大部分，第一至六章，以手工电弧焊为基本内容，介绍了电焊条、电焊机、焊接工艺和各类钢材的焊接性能；第七至十四章，介绍了气焊和气体保护焊的焊接方法，铸铁和有色金属的焊接性能，焊工必须了解的有关焊接应力与变形、焊后热处理、焊接缺陷及质量检验、焊接卫生安全技术等方面的知识，并结合发电厂的生产实际介绍了检修工作中的焊接技术。本书可供焊工培训和焊工自学之用。

本书由武汉水利电力学院钱昌黔、湖北省电力工程公司一处魏海龄、淮南发电厂邹德安和黑龙江省电力试验研究所李清志等同志分工编写了初稿。初稿完成后，向全国有关单位广泛征求了意见，在黑龙江和吉林两省电力系统联合主办的“高压焊工培训班”上进行了试用，又经审稿会审查，再由原执笔人进行了修改，最后由钱昌黔同志整理和定稿。

本书编写过程中，受到了电力工业部电力建设总局和电力工业焊接学组的关怀和指导，得到了许多单位和有关同志的支持和帮助。此外，为了使本教材能适用于各部门，还从

有关资料中直接摘录了一些数据和图表。对此，我们表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中一定还有不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

《焊工培训教材》编写组

1980年6月

目 录

前 言

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第一章 钢的基本知识 | 1 |
| 第一节 钢的性能 | 1 |
| 一、物理性能 二、化学性能 三、机械性能 | |
| 四、工艺性能 | |
| 第二节 合金元素在钢中的作用 | 5 |
| 第三节 钢中常见的组织 | 7 |
| 一、合金组织 二、钢中常见的显微组织 | |
| 第四节 铁-碳平衡状态图 | 11 |
| 第五节 钢的热处理 | 14 |
| 第六节 钢的分类及牌号 | 16 |
| 一、钢的分类 二、钢的牌号 | |
| 思考题 | 19 |
| 第二章 手弧焊冶金原理 | 20 |
| 第一节 焊接电弧及焊接冶金特点 | 20 |
| 一、焊接电弧 二、手弧焊的冶金特点 | |
| 第二节 焊接熔池的形成和结晶 | 23 |
| 一、熔池的形成 二、焊缝的结晶 | |
| 第三节 熔化金属与气体的相互作用 | 25 |
| 一、气体的来源 二、熔化金属与气体的相互作用 | |
| 第四节 熔渣的作用 | 30 |
| 第五节 焊接接头的组织 | 35 |
| 一、低碳钢接头热影响区的显微组织 二、合金钢接头热影响区的显微组织 | |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 思考题 | 42 |
| 第三章 电焊条 | 43 |
| 第一节 焊条的分类和特性 | 43 |
| 一、焊条的分类 二、各类焊条的药皮成分及特性 | |
| 三、焊条药皮 | |
| 第二节 焊条的牌号 | 49 |
| 第三节 焊条的选用 | 53 |
| 第四节 焊条的保管、使用与鉴定 | 56 |
| 一、焊条的保管与使用 二、焊条的鉴定 | |
| 思考题 | 62 |
| 第四章 手弧焊设备 | 63 |
| 第一节 对电焊机的要求 | 63 |
| 第二节 直流手弧焊发电机 | 66 |
| 一、AX-320型直流弧焊发电机 二、AX-165型直流 | |
| 弧焊发电机 | |
| 第三节 交流手弧焊变压器 | 70 |
| 一、BX1-330型交流电焊机 二、BX-500型交流电焊机 | |
| 第四节 手弧焊整流器 | 74 |
| 一、ZXG型手弧焊整流器 二、ZXG3-150型手弧 | |
| 焊整流器 | |
| 第五节 电焊机的维护及故障消除 | 79 |
| 一、电焊机的使用和维护 二、电焊机的故障、产生 | |
| 原因及消除方法 | |
| 第六节 手弧焊工具 | 83 |
| 一、焊接电缆 二、面罩及护目玻璃 三、清理工 | |
| 具 四、钢字码 | |
| 思考题 | 85 |
| 第五章 手工电弧焊工艺 | 86 |
| 第一节 手工电弧焊特点 | 86 |
| 第二节 手工电弧焊的基本要求 | 87 |

| | |
|---|-----|
| 一、接头型式 二、焊接电源 三、电焊条 四、 焊工技术水平 | |
| 第三节 基本操作技术 | 91 |
| 一、引弧 二、收弧 三、运条 四、接头技术 | |
| 第四节 金属结构焊接工艺 | 97 |
| 一、焊接结构的特点 二、对口准备 三、一般性 工艺要求 四、梁的焊接 五、桁架的焊接 | |
| 第五节 管子焊接工艺 | 105 |
| 一、对口要求 二、管子吊焊技术 三、管子横焊 技术 四、管子斜焊技术 | |
| 思考题 | 116 |
| 第六章 常用钢材的焊接 | 118 |
| 第一节 碳素钢的焊接 | 118 |
| 一、低碳钢的焊接 二、中碳钢的焊接 | |
| 第二节 普低钢的焊接 | 123 |
| 一、普低钢焊接时存在的问题 二、普低钢焊接工艺 选择 | |
| 第三节 珠光体耐热钢的焊接 | 130 |
| 一、珠光体耐热钢焊接时存在的问题 二、珠光体耐 热钢的焊接工艺 三、珠光体耐热钢焊接举例 | |
| 第四节 高铬热强钢的焊接 | 141 |
| 一、高铬热强钢焊接时存在的问题 二、X ₂₀ CrMo WV121钢管的焊接 | |
| 第五节 奥氏体不锈钢的焊接 | 147 |
| 一、奥氏体不锈钢的成分与性能 二、奥氏体钢焊接 接头的晶间腐蚀 三、奥氏体不锈钢焊接工艺要点 | |
| 第六节 异种钢的焊接 | 154 |
| 一、概述 二、异种钢焊接时存在的主要问题 三、 异种钢焊接的焊条、预热温度和回火温度的选择 | |
| 思考题 | 160 |
| 第七章 气焊与气割 | 162 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第一节 气焊和气割用的气体、设备及工具 | 162 |
| 一、氧气、氧气瓶、瓶阀及减压器 二、可燃性气体 | |
| 三、乙炔发生器及附属设备 四、焊炬与割炬 | |
| 第二节 气焊工艺与规范选择 | 174 |
| 一、气焊火焰 二、气焊的冶金特点 三、焊丝与 | |
| 气剂 四、气焊规范选择 五、气焊工艺 六、 | |
| 管子的气焊 | |
| 第三节 气割 | 186 |
| 一、气割原理 二、气割的应用 三、气割工艺 | |
| 思考题 | 190 |
| 第八章 气体保护焊 | 191 |
| 第一节 手工钨极氩弧焊 | 191 |
| 一、基本原理及应用 二、焊接设备 三、焊接材 | |
| 料 四、焊接规范 五、操作工艺 | |
| 第二节 二氧化碳气体保护焊 | 207 |
| 一、概述 二、焊接设备 三、焊接材料 四、 | |
| 操作工艺 | |
| 思考题 | 211 |
| 第九章 铸铁及有色金属的焊接 | 212 |
| 第一节 铸铁的焊接 | 212 |
| 一、灰口铸铁的牌号和性能 二、灰口铸铁焊接时的 | |
| 主要问题 三、灰口铸铁的冷焊 四、灰口铸铁的 | |
| 热焊 | |
| 第二节 铝的焊接 | 221 |
| 一、纯铝的性能 二、铝的焊接性能 三、焊接方 | |
| 法选择 | |
| 第三节 铜的焊接 | 230 |
| 一、紫铜的性能 二、铜的焊接性能 三、焊接方 | |
| 法选择 | |
| 思考题 | 234 |
| 第十章 焊接应力与变形 | 236 |

| | | |
|------|------------------|-----|
| 第一节 | 焊接应力和变形的产生 | 236 |
| | 一、焊接时焊件不均匀加热 | |
| | 二、熔敷金属的收缩 | |
| | 三、金属组织的变化 | |
| | 四、焊件的刚性 | |
| 第二节 | 变形的种类和应力分布 | 238 |
| | 一、焊接变形的种类 | |
| | 二、焊接残余应力分布 | |
| 第三节 | 防止变形的措施 | 242 |
| | 一、反变形法 | |
| | 二、利用装配和焊接顺序来控制变形 | |
| | 三、双人对称焊接法 | |
| | 四、刚性固定法 | |
| | 五、散热法 | |
| | 六、锤击焊缝法 | |
| 第四节 | 焊接变形的矫正 | 246 |
| | 一、机械矫正法 | |
| | 二、火焰矫正法 | |
| 第五节 | 焊接应力的降低和消除 | 250 |
| | 一、减少焊接应力的方法 | |
| | 二、焊接残余应力的消除 | |
| | 思考题 | 254 |
| 第十一章 | 电厂检修工作中的焊接 | 255 |
| 第一节 | 汽轮机缸体裂纹的焊补 | 255 |
| | 一、焊补工艺特点 | |
| | 二、焊接规范的选择和施工方法 | |
| | 三、焊补实例 | |
| 第二节 | 汽轮机叶片的焊接 | 263 |
| | 一、焊前准备与焊接规范的选择 | |
| | 二、焊接工艺 | |
| 第三节 | 钎焊 | 267 |
| | 一、概述 | |
| | 二、热力设备不锈钢件的钎焊 | |
| | 三、电气设备导电器件的钎焊 | |
| 第四节 | 乌金轴瓦的焊补 | 272 |
| 第五节 | 阀门密封面堆焊 | 274 |
| | 一、2Cr13堆焊 | |
| | 二、铬镍硅合金堆焊 | |
| | 三、钴基合金(司太立)的堆焊 | |
| 第六节 | 喷镀 | 277 |
| | 一、氧-乙炔焰喷镀 | |
| | 二、等离子喷镀和喷焊 | |
| | 思考题 | 281 |

| | |
|------------------------|-----|
| 第十二章 焊接接头的焊后热处理 | 282 |
| 第一节 焊后热处理的作用 | 282 |
| 第二节 焊后热处理规范的选择 | 284 |
| 一、热处理方法 | |
| 二、热处理规范的选择 | |
| 第三节 焊后热处理的加热方法 | 290 |
| 一、感应加热 | |
| 二、辐射加热 | |
| 第四节 焊后热处理的管理、质量检验和其它 | 295 |
| 一、焊后热处理的管理 | |
| 二、热处理的质量检验 | |
| 三、焊后热处理的问题 | |
| 四、焊后热处理与无损检验 | |
| 五、焊后热处理与补焊 | |
| 思考题 | 297 |
| 第十三章 焊接缺陷及质量检验 | 299 |
| 第一节 焊接检验 | 299 |
| 第二节 常见的焊接缺陷 | 301 |
| 一、外表缺陷 | |
| 二、未焊透 | |
| 三、夹渣 | |
| 四、气孔 | |
| 五、裂纹 | |
| 第三节 焊接质量检验 | 308 |
| 一、非破坏性检验 | |
| 二、破坏性检验 | |
| 思考题 | 320 |
| 第十四章 焊接工作的安全技术 | 321 |
| 第一节 焊接设备的安全技术 | 321 |
| 一、电气安全技术 | |
| 二、气瓶的安全技术 | |
| 三、乙炔发生器的安全技术 | |
| 四、减压器的安全技术 | |
| 五、焊炬及割炬的安全技术 | |
| 六、橡胶软管的安全技术 | |
| 第二节 劳动保护 | 326 |
| 一、焊接工作中的有害因素 | |
| 二、对有害因素的分析 | |
| 三、劳动保护 | |
| 思考题 | 334 |
| 附录一 常用化学元素符号表 | 335 |
| 附录二 焊条简明表 | 335 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 1.部分结构钢焊条简明表 | 335 |
| 2.部分钼和铬钼耐热钢焊条简明表 | 337 |
| 附录三 手弧焊机的技术数据 | 340 |
| 1.旋转式直流电焊机技术数据 | 340 |
| 2.交流电焊机技术数据 | 342 |
| 3.手弧焊整流器技术数据 | 344 |
| 附录四 焊接接头的基本型式 | 346 |
| 附录五 部分钢材化学成分、性能及牌号对照 | 350 |
| 1.部分优质低碳钢和低碳锅炉钢的化学成分及机械性能 | 350 |
| 2.部分普通低合金锅炉钢的化学成分及机械性能 | 351 |
| 3.常用低合金耐热钢的化学成分和物理性能 | 352 |
| 4.常用低合金耐热钢的机械性能 | 352 |
| 5.高铬热强钢的化学成分及性能 | 354 |
| 6.常用低合金耐热钢国内外牌号对照 | 356 |

第一章 钢的基本知识

焊接的主要对象是钢材。掌握一定的钢材知识，可以为正确选用焊接材料和焊接工艺提供理论上的指导，并且运用这些知识，可以了解、分析焊接过程中的某些规律，以便更好地从事焊接工作。

第一节 钢 的 性 能

钢在焊接过程中，要涉及到钢的一些基本性能，如物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能等，下面分别作一介绍。

一、物理性能

(1) 比重 (γ) 单位体积中钢的重量，叫做钢的比重，单位为克/厘米³。对于不同的钢材，其比重也稍有不同。

(2) 可熔性 钢材在常温时是固体，当其温度升高到一定程度，就能熔化成液体，这种性质叫做可熔性。钢材开始熔化的温度叫做熔点。

(3) 线膨胀系数 (α) 钢材加热时膨胀的能力，叫做热膨胀性。受热膨胀的程度，常用线膨胀系数来表示。钢材温度上升 1℃ 时，伸长的长度与原来长度的比值，叫做该钢材的线膨胀系数，单位为毫米/毫米·℃。

(4) 导热系数 (λ) 钢材的导热能力用导热系数来

表示。工业上用的导热系数是以厚 1 厘米的钢材，两面温差 1°C ，在 1 秒钟内，每平方厘米面积上由一面向另一面传导的热量来表示，单位为卡/厘米·秒· $^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 相变临界点 发生相变时的临界温度称为临界点。钢加热时，由珠光体转变为奥氏体的临界点为 A_{c1} ，由铁素体全部溶入奥氏体的临界点为 A_{c3} ；钢冷却时，由奥氏体转变为珠光体的临界点为 A_{r1} ，由奥氏体析出铁素体的临界点为 A_{r3} ；冷却至低温时，奥氏体开始转变为马氏体的临界点为 M_s 。

二、化学性能

钢的化学性能是指钢材的化学稳定性，即耐腐蚀性和抗氧化性等。

钢材在介质的侵蚀作用下被破坏的现象，称为腐蚀。钢材抵抗各种介质（大气、水蒸汽、酸、碱、盐等）侵蚀的能力，称为钢材的耐腐蚀性。

有些钢材在高温下不被氧化而能稳定的工作。这种钢材之所以不受氧化，并非它们与氧绝对不发生作用；恰恰相反，它们在高温下同样迅速受到氧化，只是在它们表面形成一层薄薄的氧化膜，非常致密，而且稳定，从而防止了氧继续向钢材内部扩散和钢的继续氧化。这层氧化膜实际上起着防护作用，使钢材具有抗氧化性。

三、机械性能

(一) 常温机械性能

1. 强度

指钢材抵抗变形和断裂的能力，一般用屈服极限、强度极限来表示，单位为公斤/毫米²。

(1) 屈服极限 用 σ_s 表示，指钢在开始塑性变形时单

位面积上所能承受的拉力，这个指标表示钢抵抗塑性变形的能力。

(2) 强度极限 用 σ_b 表示，指钢在拉断时，单位面积上所承受的最大拉力，这个指标表示钢抵抗断裂的能力。

2. 弹性与塑性

钢材在外力作用下产生变形，一旦外力除去，仍能恢复原状的性质，叫做弹性。当外力除去后，不能恢复原状，而仍保持变形状态的性质，叫做塑性。表示塑性有两种指标，即延伸率和断面收缩率。

(1) 延伸率 用 δ 表示，指试样在拉伸破坏后，其伸长量与试样原长之比，表明钢被拉伸的程度。由于总伸长是均匀伸长和产生局部缩颈后伸长之和，故 δ 值与试样尺寸有关，为了便于比较，规定试样的计算长度为其直径的 5 倍或 10 倍，用 δ_5 或 δ_{10} 表示。

(2) 断面收缩率 用 ψ 表示，指试样在拉伸破坏后，断口处断面收缩量和原断面积之比，表明钢材断面被拉细的程度。

3. 硬度

材料抵抗其它较硬物体压入表面的能力。它可以用不同的方法，在不同的仪器上测定，分别称布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC)、维氏硬度 (HV) 及肖氏硬度 (HS) 等。

大部分金属的硬度与强度之间有着一定的关系，因而可用硬度近似地估计强度的大小。根据经验：

低碳钢： $\sigma_b \approx 0.36HB$ ；

高碳钢： $\sigma_b \approx 0.34HB$ ；

调质合金钢： $\sigma_b \approx 0.325\text{HB}$ 。

4. 韧性

钢材抵抗冲击力的能力，而不被破坏的能力，叫做冲击韧性。用 a_K 表示，单位为公斤·米/厘米²。

5. 疲劳

零件经受交变载荷（载荷的大小及方向反复变化）时，钢材的破坏应力远较金属的屈服极限为低，这种现象称为疲劳。金属在无数次交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力，称为疲劳极限。当应力循环对称时，用符号 σ_{-1} 表示。

（二）高温机械性能

（1）蠕变 金属在一定温度和应力作用下，随着时间的增长，慢慢地发生塑性变形的现象称为蠕变。工程上用蠕变极限作为衡量指标，用 $\sigma_{1 \times 10^{-5}}$ 或 $\sigma_{1 \times 10^{-4}}$ 表示，单位为公斤/毫米²。有时也用在规定的时间内，使钢材发生一定量的总变形的应力值来表示。锅炉和汽轮机设备的使用年限，一般规定为10万小时，因此，蠕变极限一般是指工作10万小时总变形量为1%时的应力值，以符号 $\sigma_{1/10^5}$ 表示。

（2）持久强度 指钢材在高温和应力的长期作用下，抵抗断裂的能力。在锅炉设计中常以高温运行10万小时断裂时的应力作为持久强度，用 σ_{10^5} 表示，单位为公斤/毫米²。

（3）热脆性 钢的冲击韧性在高温和应力的长期作用下，产生下降的现象称为热脆性。几乎在所有情况下，温度越高，高温和应力作用的时间越长，钢的热脆性也就越显著。

四、工艺性能

钢的工艺性能包括：可切削性、可铸性、可锻性和可焊性等。

(1) 可切削性 指钢材接受切削加工的能力, 也就是金属经过切削加工而形成合乎要求的工件的难易程度。

(2) 可铸性 指钢材铸造时的流动性、收缩性和偏析的趋向。流动性好, 则充满铸型的能力好。收缩性是指钢材在冷却和凝固时, 钢材的体积收缩。铸件凝固后, 其化学成分的不均匀性, 称为偏析。

(3) 可锻性 指钢材在压力加工时能改变形状而不产生裂纹的性能。钢材能承受锤锻、轧制、拉拔、挤压等加工, 具有良好的可锻性。

(4) 可焊性 指钢材在给定的焊接工艺和焊接结构条件下, 获得预期焊接接头质量要求的性能。

焊缝和热影响区在焊接过程中, 经历的变化是不同的, 焊缝主要经历的是冶金、结晶过程; 而热影响区主要是经受焊接热循环过程。所以可焊性可从两方面来考虑, 亦即钢材的冶金可焊性和热可焊性。

第二节 合金元素在钢中的作用

钢中除铁和碳以及常存杂质锰、硅、硫、磷以外, 特意加入一些其它元素 (包括锰、硅) 的钢称为合金钢, 这种特意加入的元素称为合金元素。合金元素在钢中都起一定的作用。

碳(C): 碳在低合金钢中, 常与合金元素形成碳化物, 在室温或较低的温度下, 能起强化作用。但在高温下, 这些碳化物容易分解, 碳还会聚集、长大, 对蠕变抗力和持久强度会起不良的影响。碳对钢的塑性、耐腐蚀性、抗氧化性均有不良的影响, 特别对钢的可焊性影响很大, 随着含碳量的

增加，钢的可焊性下降，所以耐热钢管中含碳量一般限制在0.20%以下。根据用途的不同，也有含碳量较高的钢种。

铬 (Cr)：铬可以提高钢的耐腐蚀性和抗氧化性。因铬能在钢材表面形成一层附着性很强的致密氧化膜，使钢材的氧化速度显著减慢，提高了钢的抗氧化性。当含铬量大于12%时，能显著提高钢的电极电位，使钢材具有良好的耐腐蚀性。铬含量在2%以下，能显著提高钢的再结晶温度，提高钢的热强性。铬能阻止钢中的石墨化过程，并降低碳化物的球化速度。含铬的钢具有回火脆性，同时因铬能提高钢的淬透性，焊接时易产生裂缝，所以含铬量高的钢可焊性变差。

钼 (Mo)：钼是形成铁素体元素，它可以提高钢的再结晶温度，提高低合金耐热钢的热强性。但钼有促进石墨化的倾向。它在合金钢中常用含量为0.5~1%左右。

钒 (V)：钒是良好的脱氧剂，能除去钢中的氧。又是强碳化物形成元素，仅次于钛，形成的碳化物，在650℃以下都是稳定的。钒还能提高钢的淬透性，改善钢的机械性能，是一个有益元素，但价格较贵。

钨 (W)：钨的熔点高达3380℃，所以它能大大提高钢的再结晶温度，从而提高钢材的热强性。

钛 (Ti) 和 铌 (Nb)：它们都是强烈地形成碳化物的元素，所形成的碳化物，比碳化钒还稳定。由于钛和铌与碳的亲合力较大，常用来作稳定剂，防止铬镍奥氏体钢在高温下或焊接后产生的晶间腐蚀。它们也能提高钢的再结晶温度，对提高钢的高温机械性能有良好作用。还能显著改善钢的可焊性。

铝 (Al)：铝是非常强的脱氧剂，能使大多数金属氧化物还原。少量的铝可以细化晶粒，提高钢的抗氧化能力。