

◆ 建筑工人职业技能培训丛书

# 电焊工基本技术

本书被中国书刊发行业协会  
评为2001年度全国优秀畅销书

(第二次修订版)



金盾出版社



建筑工人职业技能培训丛书

# 电焊工基本技术

(第二次修订版)

## 丛书编委会

|       |     |     |     |
|-------|-----|-----|-----|
| 主 任   | 王亚忠 |     |     |
| 副 主 任 | 李 毅 | 黄延宾 | 尹宜祥 |
|       | 崔玉杰 | 陈代华 | 叶 刚 |
| 委 员   | 尹国元 | 尹 桦 | 孙俊英 |
|       | 张海贵 | 高忠民 | 徐 第 |
|       | 黄瑞先 | 黄有乾 | 董连启 |

本书编著者 高忠民

本书被中国书刊发行业协会评为2001年度全国优秀畅销书

金 盾 出 版 社

## 内 容 提 要

本书为第二次修订版。这次修订增加了异种金属焊接技术和堆焊等新内容。对书中原有的气体保护焊、埋弧焊、等离子弧焊、电渣焊、常用金属材料的焊接、焊接应力和焊接变形、焊接缺陷及质量检验等内容进行了补充、修改。第二次修订版体现了全面系统、更新内容和适用面广的特点。本书适合自学,也可作为学校和培训班的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电焊工基本技术/高忠民编著. —第二次修订版. —北京:  
金盾出版社, 2000. 12  
(建筑工人职业技能培训丛书)  
ISBN 7-5082-1411-0

I. 电… I. 高… III. 电焊-焊接工艺 N. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 48241 号

### 金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 68218137

传真:68276683 电挂:0234

封面印刷:北京精美彩印有限公司

正文印刷:北京 3209 工厂

各地新华书店经销

开本:787×1092 1/32 印张:19.5 字数:434 千字

2002 年 7 月第 2 次修订版第 16 次印刷

印数:370001—390000 册 定价:23.50 元

---

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、  
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

## 序

建筑业是我国国民经济的支柱产业。随着我国经济持续、快速地发展,建筑业在国民经济中的地位和作用日益突出。近几年,建筑施工队伍急剧扩大,全国平均 80% 以上的施工任务由农民工完成。由于对工人的职业技能培训工作滞后,一线技术工人素质不能完全适应企业施工生产的需要,成为有的建筑产品质量不高、施工事故时有发生的原因之一,如不改变这种状况,必然影响到建筑业的长远发展。

世界经济发达国家和我国经济发展的实践证明,职业教育的规模 and 水平直接影响企业产品质量、经济效益和发展速度。为提高建筑队伍,特别是施工一线工人队伍的整体素质,实现国家提出的“培养百万名建设专门人才和培训千万名建设技术工人和熟练劳务人员”的目标,大力发展以职业技能培训为基础的建设职业教育是一条重要途径。

本系列丛书根据国家建设部 1996 年颁发的《建设行业职业技能标准》和《建设职业技能岗位鉴定规范》要求,针对目前建筑工人的实际情况和工人培训的实际需要,在吸收借鉴国内外先进经验的基础上,组织编写了《木工基本技术》、《瓦工基本技术》、《抹灰工基本技术》、《钢筋工基本技术》、《混凝土工基本技术》、《油漆工基本技术》、《测量放线工基本技术》、《架子起重工基本技术》、《气焊工基本技术》、《电焊工基本技术》、《安装电工基本技术》、《管工基本技术》、《钣金工基本技

术》等书,供广大建筑工人进行技能培训或自学提高之用。

本丛书从当前建筑工人队伍的整体素质出发,综合考虑企业人力资源开发的需要,在内容编排上,确定以培训中级技术工人为主要目标,并兼顾高级技术工人的知识技能更新,力求做到应知应会相结合,侧重于全面提高工人的操作技能。对成熟的,并已推广应用的新材料、新技术、新工艺、新机具作了较详细的介绍。在内容设置上,注意针对性、实用性和先进性相结合,力求做到科学、实用。

本丛书也可作为建筑类技工学校和职业高中教学参考用书,并可供建筑企业一线施工管理人员和技术人员参考。

由于丛书是综合性的,难以同时兼顾各方面的需要,加之编写时间较短,涉及的工种较多,难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

建筑工人职业技能培训丛书编委会

2000年3月

## 第二次修订版前言

《电焊工基本技术》自 1995 年 1 月出版以来,1997 年 2 月第一次修订,2000 年 11 月第二次修订,第 11 次印刷,累计印数 32 万余册,荣获了“第二届金盾版优秀畅销书奖”,受到了读者的普遍欢迎。

这次重新修订时,吸取了读者提出的很多宝贵意见和建议,对一些内容结合新标准、新技术、新工艺作了补充和修改。另外增加了异种金属焊接技术和堆焊等新内容,使《电焊工基本技术》的内容更系统、更全面、更新、更实用。

本书内容由浅入深,通俗易懂,注重实用,能满足更多读者的要求。希望读者对本书继续提出宝贵意见,以利于再次修订。

作 者

2000 年 11 月

# 目 录

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| <b>第一章 钢的基本知识 .....</b>               | <b>( 1 )</b> |
| 第一节 钢的性能 .....                        | ( 1 )        |
| 第二节 钢中常见的组织 .....                     | ( 7 )        |
| 第三节 铁-碳平衡状态图和钢的热处理 .....              | (12)         |
| 第四节 合金元素在钢中的作用及钢中的有害杂质<br>和有害气体 ..... | (16)         |
| 第五节 钢的分类及牌号 .....                     | (19)         |
| <b>第二章 焊条电弧焊原理 .....</b>              | <b>(22)</b>  |
| 第一节 焊接电弧及其特性 .....                    | (22)         |
| 第二节 焊接熔池的形成和结晶 .....                  | (27)         |
| 第三节 熔化金属与气体的相互作用 .....                | (30)         |
| 第四节 焊渣的作用 .....                       | (34)         |
| 第五节 焊接接头组织 .....                      | (39)         |
| <b>第三章 电焊条 .....</b>                  | <b>(44)</b>  |
| 第一节 电焊条的分类及特性 .....                   | (44)         |
| 第二节 电焊条的型号 .....                      | (48)         |
| 第三节 电焊条的选用 .....                      | (53)         |
| 第四节 电焊条的保管、使用与鉴定 .....                | (60)         |
| <b>第四章 焊条电弧焊设备 .....</b>              | <b>(67)</b>  |
| 第一节 对电焊机的基本要求 .....                   | (67)         |
| 第二节 交流焊条电弧焊机 .....                    | (71)         |
| 第三节 直流焊条电弧焊机 .....                    | (77)         |

|            |                                |              |
|------------|--------------------------------|--------------|
| 第四节        | 电弧焊机的维护与故障排除 .....             | (85)         |
| 第五节        | 焊条电弧焊工具 .....                  | (90)         |
| <b>第五章</b> | <b>焊条电弧焊工艺及碳弧气刨 .....</b>      | <b>(96)</b>  |
| 第一节        | 焊条电弧焊基本操作技术 .....              | (97)         |
| 第二节        | 一般焊接规范 .....                   | (117)        |
| 第三节        | 焊接接头 .....                     | (123)        |
| 第四节        | 金属结构焊接工艺 .....                 | (128)        |
| 第五节        | 管焊接工艺 .....                    | (138)        |
| 第六节        | 碳弧气刨 .....                     | (150)        |
| <b>第六章</b> | <b>气体保护电弧焊 .....</b>           | <b>(164)</b> |
| 第一节        | 氩弧焊 .....                      | (164)        |
| 第二节        | 二氧化碳气体保护焊 .....                | (178)        |
| <b>第七章</b> | <b>埋弧自动焊 .....</b>             | <b>(188)</b> |
| 第一节        | 埋弧自动焊的原理、特点及应用 .....           | (188)        |
| 第二节        | 埋弧自动焊机 .....                   | (192)        |
| 第三节        | 埋弧自动焊的焊丝与焊剂 .....              | (203)        |
| 第四节        | 埋弧自动焊工艺 .....                  | (211)        |
| <b>第八章</b> | <b>等离子弧焊接与等离子弧切割 .....</b>     | <b>(236)</b> |
| 第一节        | 等离子弧的形成及应用特点 .....             | (236)        |
| 第二节        | 等离子弧焊接 .....                   | (240)        |
| 第三节        | 等离子弧切割 .....                   | (255)        |
| <b>第九章</b> | <b>电渣焊 .....</b>               | <b>(274)</b> |
| 第一节        | 电渣焊的原理、特点及应用 .....             | (274)        |
| 第二节        | 电渣焊机 .....                     | (275)        |
| 第三节        | 电渣焊机进行多丝焊和熔嘴电渣焊的<br>焊接方法 ..... | (279)        |
| 第四节        | 电渣焊实例 .....                    | (288)        |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第十章 常用金属材料的焊接</b> .....  | (294) |
| 第一节 碳素钢的焊接.....             | (294) |
| 第二节 低合金钢的焊接.....            | (299) |
| 第三节 耐热钢的焊接.....             | (307) |
| 第四节 低温钢的焊接.....             | (311) |
| 第五节 不锈钢和高铬钢的焊接.....         | (315) |
| 第六节 铸铁的焊接.....              | (322) |
| 第七节 铸件的焊补技术.....            | (329) |
| 第八节 铜和铜合金的焊接.....           | (339) |
| 第九节 铝和铝合金的焊接.....           | (345) |
| 第十节 镍和镍合金的焊接.....           | (350) |
| 第十一节 钛和钛合金的焊接.....          | (356) |
| <b>第十一章 异种金属焊接技术</b> .....  | (362) |
| 第一节 异种金属焊接原理.....           | (362) |
| 第二节 异种钢的焊接.....             | (372) |
| 第三节 铸铁与钢的焊接.....            | (438) |
| 第四节 钢与有色金属的焊接.....          | (456) |
| <b>第十二章 堆焊</b> .....        | (469) |
| 第一节 堆焊焊缝.....               | (469) |
| 第二节 堆焊填充材料的选择.....          | (472) |
| 第三节 常用的堆焊方法及其工艺.....        | (497) |
| 第四节 堆焊操作技术要点.....           | (513) |
| 第五节 堆焊实例.....               | (519) |
| <b>第十三章 焊接应力和焊接变形</b> ..... | (528) |
| 第一节 焊接应力和焊接变形的产生.....       | (528) |
| 第二节 焊接变形的种类及焊接应力的分布.....    | (531) |
| 第三节 防止焊接变形的措施.....          | (534) |

|             |                              |              |
|-------------|------------------------------|--------------|
| 第四节         | 焊接变形的矫正·····                 | (539)        |
| 第五节         | 焊接应力的降低和消除·····              | (542)        |
| 第六节         | 焊接接头的焊后热处理·····              | (546)        |
| <b>第十四章</b> | <b>焊接缺陷及质量检验·····</b>        | <b>(549)</b> |
| 第一节         | 焊接检验·····                    | (549)        |
| 第二节         | 常见的电焊缺陷·····                 | (551)        |
| 第三节         | 焊接质量检验·····                  | (566)        |
| 第四节         | 焊缝质量评定标准·····                | (571)        |
| <b>第十五章</b> | <b>电焊工安全技术·····</b>          | <b>(575)</b> |
| 第一节         | 电焊机设备的安全技术·····              | (575)        |
| 第二节         | 电焊工操作安全技术·····               | (579)        |
| 第三节         | 电焊工劳动保护·····                 | (583)        |
| <b>附 录</b>  |                              |              |
| 附录一         | 常用钢的种类、牌号、机械性能<br>及焊接性·····  | (589)        |
| 附录二         | 常用灰口铸铁和球墨铸铁的牌号<br>及力学性能····· | (593)        |
| 附录三         | 焊条电弧焊用碳钢焊条·····              | (594)        |
| 附录四         | 低合金钢焊条·····                  | (596)        |
| 附录五         | 熔敷金属化学成分·····                | (598)        |
| 附录六         | 低合金珠光体耐热钢焊条·····             | (604)        |
| 附录七         | 焊接奥氏体不锈钢选用焊条举例·····          | (606)        |
| 附录八         | 焊接接头的基本形式与基本尺寸·····          | (607)        |

# 第一章 钢的基本知识

焊接是重要的金属加工工艺。焊接的主要对象是钢材,目前生产的钢材中,将近一半要通过焊接才能成为金属结构,投入使用。在各种焊接方法中,电焊是应用最广泛、最重要的一种基本焊接方法。掌握一定的钢材知识,能为正确选用焊接材料和焊接工艺给予理论上的指导;运用这些知识,可以了解、分析焊接过程中的基本规律,从而保证焊接质量。

## 第一节 钢的性能

钢的性能包括钢的物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能。

### 一、物理性能

被焊钢材的物理性能主要指密度、熔点、热膨胀性和导热性等。

(一)密度( $\rho$ ) 单位体积内钢的质量称为钢的密度,单位为  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。铁的密度是  $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ,不同的钢材,其密度也稍有不同。

(二)熔点 金属开始熔化时的温度称为溶解温度,简称熔点。液态金属开始凝固时的温度称为凝固温度,简称凝固点。纯金属的熔点为一固定温度,例如纯铁为  $1538^\circ\text{C}$ 。对于合金来说,熔化或凝固,都是在一定的温度范围内进行的,其熔点(或凝固点)不是一个固定的温度值,而是一个温度范围。钢

是铁碳合金,其熔点为  $1300\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 。

(三)热膨胀性 一般固体物质受热后,在其长度、宽度和高度方向上的尺寸都要增加,这种现象就称为热膨胀性。固体温度由  $0^{\circ}\text{C}$  起上升  $1^{\circ}\text{C}$  所引起的长度(宽度或高度)的增加量与其在  $0^{\circ}\text{C}$  时的长度(宽度或高度)之比称为线膨胀系数,用  $\alpha$  表示。线膨胀系数大的材料,在焊接时产生的变形就大。例如,不锈钢的线膨胀系数为  $0.0000201/^{\circ}\text{C}$ ,低碳钢为  $0.0000148/^{\circ}\text{C}$ ,前者约为后者的 1.5 倍,所以在同样的焊接条件下,不锈钢焊件的变形要大得多。

(四)导热性 物体传导热量的能力称为导热性。钢材传导热量的能力用导热系数来表示。导热系数的符号为  $\lambda$ ,单位为  $\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

不锈钢的导热性比低碳钢差,因此不锈钢热影响区温度高,焊接变形大。

## 二、化学性能

被焊钢材的化学性能主要指抗腐蚀性能和抗氧化性能等。

(一)抗腐蚀性能 钢材在周围介质(大气、水蒸气、酸、碱、盐等)的侵蚀作用下被破坏的现象称为腐蚀。钢材抵抗各种介质侵蚀的能力称为钢材的抗腐蚀性能。

(二)抗氧化性能 钢材的抗氧化性能主要指在一定温度和介质条件下抵抗氧化的能力。抗氧化性能差的材料在高温下很快被周围介质中的氧所氧化,形成氧化皮并逐渐剥落,又使新的表面被氧化。

有些钢材在高温下不被氧化而能稳定工作,这是由于其表面在高温下迅速形成了一层非常致密、稳定的薄的氧化膜,

它使内部的钢材不被继续氧化。实际上这层氧化膜起着防护钢材的作用,使钢材具有抗氧化性能。耐热钢和不锈钢的抗氧化性能都比较好。

### 三、机械性能

被焊钢材的机械性能包括常温机械性能和高温机械性能。

(一)常温机械性能 包括硬度、强度、弹性与塑性、韧性等。

1. 硬度。是衡量钢材软硬的一个指标,表示钢材抵抗其它更高硬度的材料压入的能力。硬度可以用不同的方法,在不同的仪器上测定。经常用的有三种硬度值:

(1)布氏硬度,符号为 HB。HB 后面是具体硬度数值,如 HB240,称为布氏硬度 240。测布氏硬度时,将一个淬火的钢球压向被测材料,测出压痕面积。压力载荷与压痕面积之比值就是布氏硬度值,布氏硬度值的单位是  $\text{kgf/mm}^2$  (千克力/毫米<sup>2</sup>)。布氏硬度应用比较广泛。

(2)维氏硬度,符号为 HV。HV 后面是具体硬度数值。测试原理与布氏硬度相同,但压头为金刚石正四棱锥。由于压痕较小,适合于测量焊接热影响区的硬度分布。

(3)洛氏硬度,常见的符号有 HRB 和 HRC,其硬度值没有单位,它用来表示测量硬质材料的硬度,如 HRC60。

2. 强度。在外力作用下钢材抵抗变形及破坏的能力称为强度。强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭和抗剪强度,最常用的有抗拉极限强度和屈服极限强度。

(1)抗拉极限强度,用  $\sigma_b$  表示,指钢材在拉断时,单位面积上所承受的最大拉力。把待测材料加工成标准的板状拉伸

试样或圆柱形拉伸试样,在试验机上拉断,用试样的横截面面积去除最大拉伸载荷,即得抗拉极限强度。按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

式中  $\sigma_b$ ——抗拉极限强度(MPa);

$P_b$ ——拉伸过程中的最大载荷(N);

$A_0$ ——试样的原始横截面面积(mm<sup>2</sup>)。

(2)屈服极限强度,用 $\sigma_s$ 表示,指钢材在开始塑性变形时单位面积上所能承受的拉力,这一指标表示钢材抵抗塑性变形的能力。在试件的拉伸过程中,试件的变形随拉伸载荷的增加而增加,当载荷增加到一定值时,即使不再增加拉力,试件仍然不断拉长,达到一定变形后才停止。把载荷不再增加而变形仍然产生的现象称为屈服现象。发生屈服现象时所产生的变形,在去掉拉力后也不能恢复原状,所拉长的这一部分变形成了永久变形,叫做塑性变形。屈服极限强度按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0}$$

式中  $\sigma_s$ ——屈服极限强度(MPa);

$P_s$ ——出现屈服现象时的载荷(N);

$A_0$ ——试样的原始横截面面积(mm<sup>2</sup>)。

金属结构在承载时不允许产生不可恢复的永久变形,即截面单位面积上所分布的载荷(工作应力),不允许达到屈服极限强度,因此屈服极限强度是钢材常温机械性能的重要指标。

3. 弹性与塑性。钢材在载荷作用下产生变形,一旦载荷消失仍能恢复原状的性质叫做弹性;当载荷消失后不能恢复原状,而仍保持变形状态的性质叫做塑性。钢材的塑性常用三

个指标表示,即延伸率、断面收缩率和冷弯性能。

延伸率和断面收缩率是在做拉伸试验中测量抗拉极限强度的同时测出来的。延伸率按下式计算:

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中  $\delta$ ——延伸率(%);

$L_0$ ——试样标距长度(5 倍或 10 倍试样直径,mm);

$L$ ——试样拉断后标距伸长后的长度(mm)。

断面收缩率按下式计算:

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

式中  $\psi$ ——断面收缩率(%);

$F_0$ ——试样原始横截面面积(mm<sup>2</sup>);

$F$ ——试样拉断处的横截面面积(mm<sup>2</sup>)。

冷弯性能试验是把试样绕在一定直径的轴上进行弯曲,检查弯曲外表面的塑性。把出现第一条裂纹时的角度称为弯曲角,用  $\alpha$  表示,单位为角度。如果无裂纹时,一直弯曲到 180°。按照技术规范选取轴的直径与试样厚度的比值。

冷弯性能试验对检验焊接接头的质量具有重要的意义,不仅可以检验接头各部位的塑性,还可以检验有无缺陷裂口,特别是焊接裂纹,一旦有裂纹,就会产生大裂口。

4. 韧性。在冲击载荷作用下钢材抵抗破坏的能力称为韧性。用冲击试验测定材料的冲击韧性。在被冲击的试样上开有 V 形或 U 形缺口,测量试样冲击断裂时吸收的能量。冲击韧性按下式计算:

$$a_k = \frac{A_k}{F_0}$$

式中  $a_k$ ——冲击韧性( $J/cm^2$ );

$A_k$ ——冲击试验时所用冲击功( $J$ );

$F_0$ ——试样缺口部位原始截面面积( $cm^2$ )。

## (二)高温机械性能

1. 蠕变。钢材在一定温度和应力(截面单位面积上分布的载荷)作用下,随着时间的增长,慢慢地发生塑性变形的现象叫做蠕变。工程上用蠕变极限作为衡量指标,一般是指工作100000h(小时)总变形量为1%的应力值,有时也用在规定时间内使钢材发生一定量的总变形的应力值来表示。

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,常以高温运行100000h断裂时的应力作为持久强度。

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。温度越高,应力作用时间越长,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。

(一)可切削性 指钢材接受切削加工的能力,即钢材经过切削加工而形成合乎要求的工件的难易程度。

(二)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。收缩性指钢材在冷却和凝固时体积的收缩状况。铸件在凝固后其化学成分的不均匀性称为偏析。

(三)可锻性 指钢材在进行压力加工时能改变形状而不产生裂纹的性能。钢材适于锤锻、轧制、拉拔、挤压等加工,具

有良好的可锻性。

(四)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。由于焊缝主要经历的是冶金、结晶过程,而焊缝周围的热影响区主要经历的是焊接热循环过程,所以钢材的可焊性应从钢材的冶金可焊性和热可焊性两个方面来考虑。

## 第二节 钢中常见的组织

### 一、钢的晶体结构

构成物质的基本颗粒(原子、分子或离子)有规律地排列,凡具有这样特征的材料叫做晶体。各种金属及其合金都是晶体,金属的基本颗粒是原子。为了研究方便,把各原子用假想的线段连接起来,形成的立体方格结构称为晶格。通常是取晶格中能代表晶格特征的最小单元即“晶胞”来描述晶体结构的类型和原子在晶体内部的排列规律。

晶体中所有基本颗粒都按共同的规律排列,这样的晶体称为单晶体。由许多杂乱无章排布的单晶体所组成的晶体称为多晶体。在多晶体中的每一个小的单晶体称为晶粒。晶粒之间的边界称为晶界。单晶体与多晶体的示意图见图 1-1。普通金属材料都是多晶体,在钢材的晶体结构即多晶体的晶界处,由于晶格排列方向极不一致,犬牙交错,相互咬合,从而加强了金属的结合。金属的晶粒越细,其机械性能就越好。

由上所述,钢材的各项性能除了与其化学成分有关外,还与钢材的晶体结构有关。同样化学成分的钢材,若晶体结构不同时,机械性能就有很大差别。热处理就是根据这一原理发展