



特种作业人员培训丛书

# 焊接工艺与安全技术

国家安全生产监督管理局编

中国安全生产出版社

本书编审人员:

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 肖光祥 | 李海峰 | 何冰清 |
| 王先礼 | 丛进滋 | 李暑青 |
| 王玉芝 | 刘德镇 | 刘诚  |
| 房建斌 | 苏强  | 沈茂堂 |
| 陈长森 |     |     |

## 焊接工艺与安全技术

济南市劳动保护教育中心编

\*

山东大学出版社出版发行

山东实验中学印刷厂印刷

\*

850×1168毫米 大32 9.375印张 232千字

1991年9月第1版 1991年3月第1次印刷

印数 1—5000

ISBN7-5607-0449-2/TB·2

定价: 4.50 元

## 前 言

为满足广大焊接工作者的需要，增强现代化安全生产意识，提高职工的安全技术素质。我们编写了《焊接工艺与安全技术》一书。本书以提高焊接工作人员的基础理论及技术水平为指导思想。着重论述了金属焊接的技术基础知识，工艺特点，安全技术典型实例等。

在编写过程中，力求作到内容讲述详细，文字通俗流畅，系统性较强，次序的编写安排尽量做到由浅入深，由易到难，注意循序渐近适当地渗透了安全生产操作的要点。

本书在编写出版过程中，得到了济南市劳动局等有关部门的大力支持和帮助，在此深表谢意。

本书既可作为焊接作业人员的安全技术培训教材，也可供各类有关技工学校及职工教育使用。

由于时间仓促，水平有限，书中内容难免有错误之处，我们敬请广大读者提出批评指正。

# 目 录

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| 绪 论 .....                  | ( 1 )  |
| 复习题 .....                  | ( 4 )  |
| <b>第一章 金属材料的基本知识</b>       |        |
| 第一节 金属材料概述 .....           | ( 5 )  |
| 第二节 金属材料的物理和化学性质 .....     | ( 6 )  |
| 第三节 金属材料的工艺性能 .....        | ( 7 )  |
| 第四节 金属材料的机械性能 .....        | ( 9 )  |
| 第五节 钢材分类及钢号 .....          | ( 15 ) |
| 第六节 钢中的合金元素、杂质及气体的影响 ..... | ( 22 ) |
| 第七节 钢的热处理 .....            | ( 25 ) |
| 复习题 .....                  | ( 26 ) |
| <b>第二章 焊接电弧及防弧光灼伤</b>      |        |
| 第一节 焊接电弧的产生 .....          | ( 28 ) |
| 第二节 焊接电弧的构造及其静特性 .....     | ( 31 ) |
| 第三节 影响电弧稳定性的因素 .....       | ( 34 ) |
| 第四节 电焊弧光损害与防护 .....        | ( 37 ) |
| 复习题 .....                  | ( 39 ) |
| <b>第三章 焊接冶金过程</b>          |        |
| 第一节 焊接冶金过程的特点 .....        | ( 40 ) |

|     |                   |        |
|-----|-------------------|--------|
| 第二节 | 气体与金属的作用·····     | ( 42 ) |
| 第三节 | 焊接熔渣及其与金属的作用····· | ( 49 ) |
| 复习题 | ·····             | ( 56 ) |

#### **第四章 手工电弧焊工艺及安全操作技术**

|     |                  |        |
|-----|------------------|--------|
| 第一节 | 焊接接头型式及焊缝形式····· | ( 57 ) |
| 第二节 | 基本操作技术·····      | ( 62 ) |
| 第三节 | 手工电弧焊工艺·····     | ( 67 ) |
| 第四节 | 手弧焊安全操作技术·····   | ( 77 ) |
| 第五节 | 碳弧气刨及安全技术·····   | ( 80 ) |
| 复习题 | ·····            | ( 90 ) |

#### **第五章 电焊条及焊接卫生防护技术**

|     |                  |         |
|-----|------------------|---------|
| 第一节 | 焊条及其组成·····      | ( 91 )  |
| 第二节 | 焊条的分类、选用及保管····· | ( 96 )  |
| 第三节 | 焊接卫生防护技术·····    | ( 102 ) |
| 复习题 | ·····            | ( 104 ) |

#### **第六章 手弧焊设备及电气安全技术**

|     |                  |         |
|-----|------------------|---------|
| 第一节 | 手弧焊对电源的要求·····   | ( 106 ) |
| 第二节 | 交流手弧焊机·····      | ( 109 ) |
| 第三节 | 旋转式直流焊机·····     | ( 113 ) |
| 第四节 | 手弧焊整流器·····      | ( 118 ) |
| 第五节 | 手弧焊机的使用与维护·····  | ( 123 ) |
| 第六节 | 手工电弧焊机的维修·····   | ( 128 ) |
| 第七节 | 手工电弧焊电气安全技术····· | ( 132 ) |

|               |         |
|---------------|---------|
| 第八节 触电事故及经验教训 | ( 136 ) |
| 复习题           | ( 138 ) |

## 第七章 常用金属材料的焊接

|               |         |
|---------------|---------|
| 第一节 金属材料的可焊性  | ( 139 ) |
| 第二节 碳素钢的焊接    | ( 141 ) |
| 第三节 普通低合金钢的焊接 | ( 145 ) |
| 第四节 不锈钢的焊接    | ( 151 ) |
| 第五节 铸铁补焊      | ( 159 ) |
| 复习题           | ( 164 ) |

## 第八章 常见焊接缺陷及质量检验

|               |         |
|---------------|---------|
| 第一节 常见焊接缺陷及预防 | ( 166 ) |
| 第二节 焊接质量检验    | ( 173 ) |
| 复习题           | ( 178 ) |

## 第九章 焊接变形及防止办法

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 第一节 焊接应力和变形的概念        | ( 180 ) |
| 第二节 焊接变形的形式及产生原因      | ( 182 ) |
| 第三节 影响焊接变形的因素及防止办法    | ( 184 ) |
| 第四节 焊接结构残余应力及变形的消除和矫正 | ( 190 ) |
| 复习题                   | ( 195 ) |

## 第十章 气焊与气割工艺

|               |         |
|---------------|---------|
| 第一节 气焊、气割用的气体 | ( 196 ) |
| 第二节 气焊火焰及用途   | ( 200 ) |

|     |      |         |
|-----|------|---------|
| 第三节 | 气焊工艺 | ( 204 ) |
| 第四节 | 氧气切割 | ( 210 ) |
| 复习题 |      | ( 213 ) |

## **第十一章 气焊气割设备及工具的安全使用**

|     |                  |         |
|-----|------------------|---------|
| 第一节 | 生产可燃气体的设备及安全注意事项 | ( 214 ) |
| 第二节 | 事故分析及经验教训        | ( 231 ) |
| 第三节 | 贮存助燃气体的设备及安全注意事项 | ( 233 ) |
| 第四节 | 气焊、气割用的工具及安全注意事项 | ( 239 ) |
| 第五节 | 气焊、气割辅助工具        | ( 246 ) |
| 复习题 |                  | ( 247 ) |

## **第十二章 气体保护电弧焊**

|     |             |         |
|-----|-------------|---------|
| 第一节 | 二氧化碳气体保护焊   | ( 249 ) |
| 第二节 | 氩弧焊         | ( 255 ) |
| 第三节 | 气体保护电弧焊安全技术 | ( 263 ) |
| 复习题 |             | ( 268 ) |

## **第十三章 几种常用焊接及切割方法简介**

|     |          |         |
|-----|----------|---------|
| 第一节 | 埋弧自动焊    | ( 269 ) |
| 第二节 | 等离子弧焊    | ( 272 ) |
| 第三节 | 电阻焊      | ( 274 ) |
| 第四节 | 钢筋电渣对焊   | ( 279 ) |
| 第五节 | 钎焊       | ( 283 ) |
| 第六节 | 其他切割方法简介 | ( 286 ) |
| 复习题 |          | ( 287 ) |

## 绪 论

在金属结构和机械制造工业中，使两个或两个以上零件联接在一起的方法有许多种，根据这些联接的特点，可将其分为两类：一类是机械联接，是可拆卸的，也叫非永久性联接，如螺栓联接、键联接等。另一类是永久性联接，其拆卸只有在毁坏零件后才能实现，如铆接、焊接等。

焊接是利用两个物体原子间产生的结合作用来实现的，联接后不能再拆卸。目前，焊接是一种应用极为广泛的永久性联接的方法。但在过去，这样联接主要采用铆接工艺。自十九世纪以来，由于焊接工艺成功的应用及焊接设备和工艺的迅速发展，逐步取代了铆接，这主要是因为焊接与铆接相比，有着显著的优越性，它节省金属材料，减轻结构的重量，简化加工与装配工序，接头的密封性好，能承受高压，容易实现机械化和自动化生产，提高生产效率等。所以被广泛应用。

为了实现焊接过程，必须使两个被焊接物体（通常是金属）相互接近到原子间的力能够发生作用的程度，因此，焊接就需要加热、加压或加热同时加压的方法来促使两个被焊金属的原子间达到能够结合的程度，以获得永久牢固的连接。

焊接就是通过加热或加压或者两者并用，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、压焊和钎焊三类。

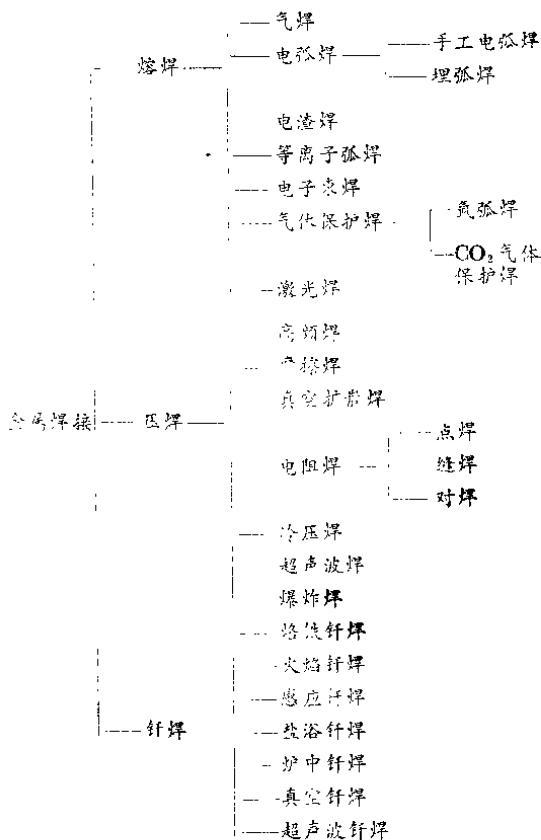
1.熔焊 这一类焊接方法是利用局部加热将焊件的接合处加热到熔化状态，不加压力完成焊接的方法。由于在加热的条件下，增强了金属原子的动能，促进原子间的相互扩散。当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时，原子之间可以充分扩散和紧密接触，因此，冷却凝固后，即可形成牢固的焊接接头。

2.压焊 这一类焊接方法是在焊接时不论对焊件加热与否，都施加一定的压力，使两个接合面紧密接触，促进原子间产生结合作用，以获得两个焊件间的牢固联接。

3.钎焊 这一类焊接方法是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料的熔点，低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现联接焊件的方法。它与熔化焊有相似之处，也可获得牢固的连接。但两者之间有本质的区别。

常用的焊接方法分类见下表所示：

近代焊接技术，是从1882年出现碳弧焊开始，直到本世纪的三十年代，在生产上还只是采用气焊和手工电弧焊等简单的焊接方法，由于焊接具有节省金属，生产率高，产品质量好等一系列优点，所以在近半个多世纪内得到了极为迅速的发展，从四十年代初出现优质电焊条直至埋弧焊、电阻焊的应用，从五十年代的电渣焊、各种气体保护焊到六十年代的等离子弧焊、激光焊等先进焊接方法的不断出现，焊接技术达到了一个新的水平。



焊接工艺作为一门科学，是人类共同创造的财富，它也是人类社会发展的必然产物。我国是世界上最早应用焊接技术的国家之一，随着科学技术的发展，我国的焊接技术发展也很惊人，近年来对能量束焊接，太阳能焊接、冷压焊等新的焊接方法也开始研究，尤其是在焊接工艺自动控制方面有了很大的发展，我们相信，只要我们不断努力，我国的焊接事业一定能达到和超过世界先进水平。

### 复 习 题

1. 焊接和铆接相比有哪些特点？
2. 为什么焊接时要加热、加压？
3. 金属焊接分为哪三类？各类焊接方法均有什么特点？
4. 为什么说钎焊和熔化焊之间有本质的区别？
5. 为什么说螺栓联接是非永久性联接？而焊接是永久性的联接？

# 第一章 金属材料的基本知识

## 第一节 金属材料概述

### 一、金属

金属元素有几十种，工业上常把金属分为黑色金属和有色金属两大类；铁、铬、锰等元素及其合金称为黑色金属；其余的金属及其合金均称为有色金属。

也常有轻金属、重金属、稀有金属、贵金属等叫法，这只是为了突出某一特点才这样叫，把比重小于5克/厘米<sup>3</sup>的金属称为轻金属，如铝、镁等，比重等于或大于5克/厘米<sup>3</sup>的金属称为重金属，通常指钢、铅、锡等。稀有金属在地壳中储量较少，如铌、钴、锆等，贵金属指银、锡等，其价格昂贵。

### 二、纯金属及合金

纯金属的性能往往不能全面满足工业生产的需要，例如纯铁或纯铝，虽然塑性非常好，容易成型，但硬度和强度太低，承载能力太差，随着科学技术的发展，对材料性能的要求越来越高，诸如耐高温、抗腐蚀、耐磨损等，纯金属是很难满足这些要求的。

主要的解决办法是使用合金，以一种合金为基础，加入一种或几种其它金属加热熔化凝固后得到的固体叫作合金。

这样的合金铸件再经过一系列的热加工或冷加工，变成各种型材使用。有时直接使用铸件。铸铁、碳素钢、合金钢等都是以铁为基础的合金。纯金属的应用远不如合金普遍。

在生产上常常使用金属材料这一术语，它是金属和合金的总称。

## 第二节 金属材料的物理和化学性质

下面介绍一些在焊接中涉及到的金属材料的物理和化学性质。

被焊金属材料的物理性质主要指熔点、比重、热膨胀系数、导热性等。

金属熔化时的温度称为熔点，液态金属凝固时的温度称为凝固点温度。对于金属来说，熔点与凝固点相同，即加热时在此温度下熔化，冷却时在此温度下凝固。纯金属的熔点为一固定温度，例如纯铜的熔点为 $1083^{\circ}\text{C}$ ，纯铝为 $660^{\circ}\text{C}$ ，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，而不是一固定的温度下进行，例如钢是铁与碳的合金，其熔点（或凝固点）的温度范围为 $1300\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 。

比较物质的轻重时，用比重的术语，比重的含意是单位体积物质的重量，常用单位是克/厘米<sup>3</sup>。铁的比重是7.8克/厘米<sup>3</sup>。

固体物质受热以后，在其长度、宽度和高度方向上的尺寸都要增加，这种现象称为固体的热膨胀。固体由于温度从

0°C时长度上升1°C所引起的长度（宽度或高度）的增加量，与其在0°C时的长度（宽度或高度）之比称为线胀系数，线胀系数常用字母  $\alpha$  表示。线胀系数大的材料，在焊接时产生的变形大，例如不锈钢的线胀系数为0.000201/度，低碳钢为0.000148/度，前者约为后者的1.5倍，在同样条件下焊接时不锈钢焊件的变形要大得多。

物体传导热量的能力称为导热性，用导热系数表示物体的导热性，单位是卡/厘米·秒·度，不锈钢的导热性比低碳钢差。例如，在100°C时前者为0.050卡/厘米·秒·度，后者为0.144卡/厘米·秒·度，因此不锈钢热影响区温度高，焊接变形大。紫铜的导热性能好，焊接时采用功率大的热源，才能使母材熔化。

金属材料抵抗介质腐蚀的能力称为抗腐蚀能力（或耐腐蚀性能），对于碳素钢和低合金钢来说，主要是抗各种化学介质的腐蚀。

抗氧化性能主要针对耐热钢提出来的，即在一定的温度和介质的附设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，又有新的表面被氧化，珠光体耐热钢和不锈钢的抗氧化性较好，某些镍合金的抗氧化性能最好。

### 第三节 金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能系指承受各种冷热加工的能力，如铸造性、可锻性、可焊性、切削加工性等，它的工艺性能直

接影响产品的质量和制造工艺，下面主要介绍金属材料的焊接性能。（可焊性）。

### 一、焊接性能（可焊性）

钢材的焊接性能，直接影响焊接工艺和焊接质量，通常用可焊性这一概念来表达。所谓钢材的可焊性，是指被焊钢材在采用一定的焊接材料、焊接工艺方法及工艺规范参数等条件下，获得优质焊接接头的难易程度。不同类别的钢材，其可焊性不一样，同一钢材，采用不同的焊接方法或焊接材料，其可焊性也可能有很大差别，可焊性包括两方面：

（1）工艺可焊性，指在一定焊接条件下焊接接头中出现各种裂纹脆化及其它工艺缺陷的可能程度。

（2）使用可焊性，指在一定焊接条件下焊接接头的性能发生变化并影响使用可靠性的程度。

钢材的可焊性常用碳当量评估，所谓当量法就是根据钢材的化学成分与焊接热影响区淬硬性的关系，粗略地评价钢材焊接时产生裂纹的倾向和脆化倾向的一种估算方法。

碳素钢和低合金结构钢常用的碳当量计算公式如下：

$$C_{\text{当量}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{1}{5} (Cr + Mo + V) + \frac{1}{15} (Ni + Cu)$$

式中右边各项中的元素符号表示钢材中化学成分元素含量%。

经验表明，当 $C_{\text{当量}} < 0.4\%$ 时，钢材的淬硬倾向不大，可焊性优良，焊接时可不预热，当 $C_{\text{当量}} = 0.4 \sim 0.6\%$ 时，钢材的淬硬倾向增大，焊接时需要采取预热，控制焊接规范等工艺措施，当 $C_{\text{当量}} > 0.6\%$ 时，钢材的淬硬倾向大，可焊性差。

碳当量只考虑了化学成分对可焊性的影响，没有考虑结

构刚性、板厚、扩散氢含量等因素，所以，在使用碳当量法估价钢材的可焊性时，还应该考虑上述诸因素的影响。

## **二、铸造性能**

它决定于液态金属的流动性、收缩性和偏析的倾向。流动性是指液态金属充满铸型的能力，收缩性是指金属凝固时的体积收缩，偏析是指凝固后的化学成分和组织的不均匀程度，铸铁有良好的铸造性。

## **三、可锻性能**

它是指金属承受压力加工生产、塑性变形的能力，黄铜在冷态下就具有好的可锻性，钢的可锻性也较好，铸铁则几乎没有可锻性，塑性好的金属就具有良好的可锻性。

## **四、淬透性能**

它是指钢奥氏体化后，接受淬火的能力。用淬透层的深度来表示。

## **五、切削加工性能**

它是指接受切削加工的能力，也就是金属经过切削加工获得一定外形零件的难易程度。铸铁、铜（或铅）合金的切削加工性能比钢好。

# **第四节 金属材料的机械性能**

金属材料在一定的温度条件和外力作用下，抵抗变形和断裂的能力称为机械性能或称力学性能。常见机械性能主要包括强度、塑性、硬度和韧性等高温机械性能包括抗蠕变性能、持久强度和瞬时强度以及热疲劳性能等。低温机械性能

还包括脆性转变温度等。

### 一、强度和塑性

强度有静强度和疲劳强度之分。静强度是金属材料缓慢加载的静力作用下抵抗变形和断裂的能力。疲劳强度是金属材料在交变载荷作用下经过千万次循环交变载荷而不产生裂纹或断裂的能力。常用的强度指标有屈服极限、强度极限和疲劳极限等。塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形的能力。常用的塑性指标有延伸率和断面收缩率以及冷弯角等。金属材料的强度和塑性指标可通过拉伸试验及冷弯试验而获得。

#### 1. 屈服点和屈服强度

金属材料在拉伸过程中当载荷不再增加甚至有所降低而继续发生塑性变形的现象称为屈服现象，开始发生屈服现象的应力称为屈服点，以  $\sigma_s$  表示，拉伸试验时，如果金属材料的屈服现象不明显或无屈服现象，则以变形量达到试样基准长度的0.2%时的应力定义为该金属材料的屈服强度，以  $\sigma_{0.2}$  表示， $\sigma_s$  或  $\sigma_{0.2}$  的计算公式如下：

$$\sigma_s \text{ 或 } \sigma_{0.2} = \frac{P_s \text{ 或 } P_{0.2}}{F_0} \text{ kgf/cm}^2$$

式中  $P_s$  或  $P_{0.2}$  —— 试样开始屈服或产生0.2%基准长度变形量时的载荷 kgf。

$F_0$  —— 试样的原始横截面积  $\text{cm}^2$ 。

#### 2. 抗拉强度

金属材料在拉伸试验时所承受的最大名义应力值称为抗拉强度，以  $\sigma_b$  表示，计算公式如下：