

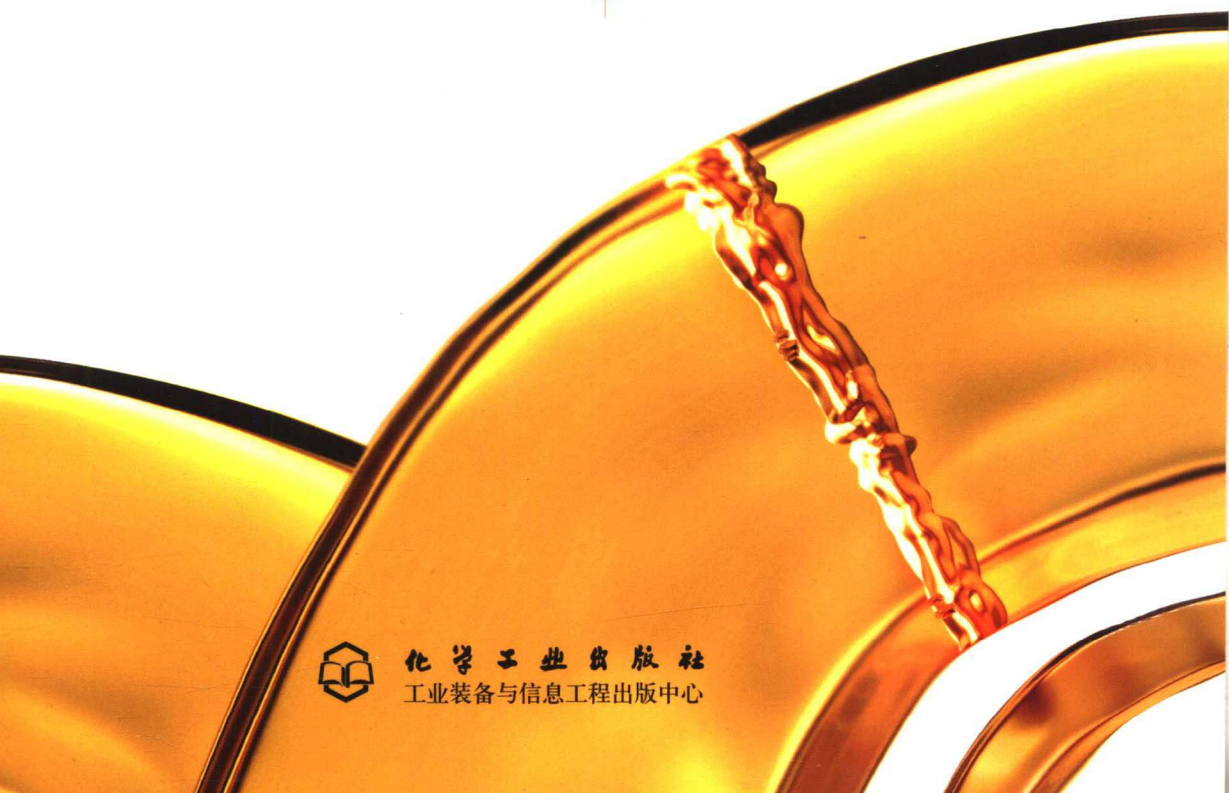


# 有色金属 焊接及应用

李亚江 王娟 刘强 编著

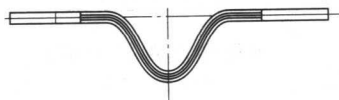


化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心



# 有色金属 焊接及应用

李亚江 王娟 刘强 编著



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

随着科学技术的发展,有色金属的应用日趋广泛。虽然有色金属只占金属总量的5%左右,但有色金属在工程应用中的重要作用却是钢铁或其他材料无法代替的。有色金属具有特殊的性能,比常规钢铁材料的焊接更复杂,这给焊接工作带来很大的困难。本书的特点是从实用性角度对生产中各种有色金属(铝、铜、钛、镁、镍等)的特性、焊接工艺要点及应用等做了系统的阐述,特别是介绍了异种有色金属的焊接特点,给出一些有色金属焊接产品开发和生产中成功的实例,为读者掌握有色金属的焊接工艺要点和工程应用提供理论指导和实践中成功的经验。

本书主要供从事有色金属焊接生产和制造相关的工程技术人员、管理人员、质量检验人员和操作工人使用,也可供高等院校师生、科研单位和厂矿企业的相关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

有色金属焊接及应用/李亚江,王娟,刘强编著.  
北京:化学工业出版社,2006.3  
ISBN 7-5025-8389-0

I. 有… II. ①李…②王…③刘… III. 有色金属-焊接 IV. TG457.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020656 号

---

### 有色金属焊接及应用

李亚江 王娟 刘强 编著

责任编辑:任文斗 周红

责任校对:顾淑云

封面设计:尹琳琳

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 20½ 字数 390 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8389-0

定 价:38.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 前 言

---

有色金属种类繁多,具有特殊的性能,应用范围也日趋广泛。随着科学技术的发展,有色金属在我国国民经济建设中的突出作用日益引起人们的关注。虽然有色金属只占金属材料总量的5%左右,处于补充地位,但有色金属在工程应用中的重要作用却是钢铁或其他材料无法代替的。目前涉及“有色金属焊接”方面的书籍不多,而近年来社会发展迫切需求阐述简明、深入浅出、能指导实践的有关有色金属焊接及应用方面的技术书籍。随着市场经济的发展,有色金属的应用越来越多,已从原来的航空航天部门逐渐扩展到电子、通信、汽车、交通运输和轻工领域等。特别是铝、铜、钛、镁、镍等有色金属在未来几年的金属结构应用中越来越重要。

有色金属焊接比常规钢铁材料的焊接复杂得多,这给焊接工作带来很大的困难。本书的特点是注重阐述各种有色金属的特性、焊接特点和焊接方法的选择,从实用性角度对工程中有色金属结构的焊接工艺要点及应用等做了系统的阐述,给出一些有色金属焊接产品开发和生产中成功的实例,特别是给出一些异种有色金属的焊接特点和一些应用实例,为读者掌握有色金属的焊接工艺要点和工程应用提供理论指导和生产实践中成功的经验。

本书适用面广,主要供从事与有色金属焊接生产和制造相关的工程技术人员、管理人员、质量检验人员和操作工人使用,也可供高等院校师生、科研单位和厂矿企业的相关人员参考。

参加本书编写的人员还有:张永喜、马海军、刘鹏、郭国林、夏春智、张永兰、沈孝芹等。

在此向所有参考文献的作者表示感谢。书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者  
2006年1月



# 目 录

---

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 概述 .....                   | 1  |
| 1.1 有色金属的分类及性能 .....             | 1  |
| 1.1.1 有色金属的分类及牌号 .....           | 1  |
| 1.1.2 有色金属的主要特性及热处理 .....        | 6  |
| 1.1.3 化学元素对有色金属性能的影响 .....       | 7  |
| 1.2 有色金属的焊接特点 .....              | 9  |
| 1.2.1 有色金属焊接的难易程度 .....          | 9  |
| 1.2.2 常用有色金属焊接方法 .....           | 10 |
| 1.2.3 有色金属焊接用材料 .....            | 15 |
| 第 2 章 铝及铝合金焊接 .....              | 23 |
| 2.1 铝及铝合金的特点及焊接性 .....           | 23 |
| 2.1.1 铝及铝合金的分类、成分和性能 .....       | 23 |
| 2.1.2 铝及铝合金的焊接性特点 .....          | 29 |
| 2.1.3 焊接方法的选用 .....              | 31 |
| 2.1.4 铝用焊接材料 .....               | 33 |
| 2.2 铝及铝合金焊接工艺 .....              | 37 |
| 2.2.1 焊前准备 .....                 | 37 |
| 2.2.2 铝及铝合金的气焊 .....             | 38 |
| 2.2.3 铝及铝合金的钨极氩弧焊 (TIG 焊) .....  | 41 |
| 2.2.4 铝及铝合金的熔化极氩弧焊 (MIG 焊) ..... | 45 |
| 2.2.5 铝及铝合金的搅拌摩擦焊 .....          | 48 |
| 2.2.6 铝及铝合金的钎焊 .....             | 49 |
| 2.3 铝及铝合金焊接实例 .....              | 56 |
| 2.3.1 铝冷凝器端盖的气焊 .....            | 56 |
| 2.3.2 铝制容器手工 TIG 焊 .....         | 57 |

|              |                   |            |
|--------------|-------------------|------------|
| 2.3.3        | 铝储罐的半自动 MIG 焊     | 58         |
| 2.3.4        | 铝合金压力罐的自动 MIG 焊   | 59         |
| 2.3.5        | 铝波导零件的真空钎焊        | 61         |
| 2.3.6        | 铝板翅式换热器的盐浴浸渍钎焊    | 62         |
| 2.3.7        | 铝锂合金的焊接           | 63         |
| <b>第 3 章</b> | <b>铜及铜合金的焊接</b>   | <b>67</b>  |
| 3.1          | 铜及铜合金的分类、成分及性能    | 67         |
| 3.1.1        | 铜及铜合金的分类          | 67         |
| 3.1.2        | 铜及铜合金的成分及性能       | 67         |
| 3.2          | 铜及铜合金的焊接性及焊接材料    | 72         |
| 3.2.1        | 铜及铜合金的焊接性特点       | 72         |
| 3.2.2        | 铜及铜合金的焊接材料        | 77         |
| 3.3          | 铜及铜合金的焊接工艺        | 80         |
| 3.3.1        | 焊接方法的选用           | 80         |
| 3.3.2        | 焊前准备              | 81         |
| 3.3.3        | 焊接工艺及参数           | 83         |
| 3.4          | 铜及铜合金焊接实例         | 95         |
| 3.4.1        | 纯铜薄壁容器的手工 TIG 焊   | 95         |
| 3.4.2        | 纯铜厚壁容器的半自动 MIG 焊  | 95         |
| 3.4.3        | 高炉纯铜螺旋风口的自动 MIG 焊 | 96         |
| 3.4.4        | 船用铜制螺旋桨的电弧焊修复     | 98         |
| <b>第 4 章</b> | <b>钛及钛合金的焊接</b>   | <b>101</b> |
| 4.1          | 钛及钛合金的分类和性能       | 101        |
| 4.1.1        | 钛及钛合金的分类          | 101        |
| 4.1.2        | 钛及钛合金的化学成分及性能     | 102        |
| 4.2          | 钛及钛合金的焊接特点        | 105        |
| 4.2.1        | 接头区脆化             | 105        |
| 4.2.2        | 焊接裂纹              | 108        |
| 4.2.3        | 焊缝中的气孔            | 109        |
| 4.3          | 钛及钛合金的焊接工艺        | 111        |
| 4.3.1        | 钛及钛合金的氩弧焊         | 112        |
| 4.3.2        | 钛及钛合金的等离子弧焊       | 120        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 4.3.3 钛及钛合金的其他焊接方法 .....     | 121        |
| 4.4 钛及钛合金焊接实例 .....          | 126        |
| 4.4.1 TC4 钛合金气瓶的 TIG 焊 ..... | 126        |
| 4.4.2 乙烯工程中钛管的焊接 .....       | 126        |
| 4.4.3 凝汽器与蒸发器部件的 TIG 焊 ..... | 128        |
| 4.4.4 发动机钛合金组件的电子束焊 .....    | 129        |
| <b>第 5 章 镁及镁合金的焊接 .....</b>  | <b>131</b> |
| 5.1 镁及镁合金分类、性能及焊接性特点 .....   | 131        |
| 5.1.1 镁及镁合金的分类及应用 .....      | 131        |
| 5.1.2 镁及镁合金的成分及性能 .....      | 133        |
| 5.1.3 镁及镁合金的焊接性特点 .....      | 135        |
| 5.2 镁及镁合金焊接工艺 .....          | 137        |
| 5.2.1 焊接材料及焊前准备 .....        | 137        |
| 5.2.2 镁及镁合金的氩弧焊 .....        | 140        |
| 5.2.3 镁及镁合金的电阻点焊 .....       | 143        |
| 5.2.4 镁及镁合金的气焊 .....         | 144        |
| 5.2.5 镁及镁合金的其他焊接方法 .....     | 145        |
| 5.3 镁及镁合金焊接实例 .....          | 147        |
| 5.3.1 镁合金的钨极氩弧焊 (TIG) .....  | 147        |
| 5.3.2 镁合金裂纹的电子束焊修复 .....     | 150        |
| 5.3.3 镁合金铸件裂纹的 TIG 焊修复 ..... | 151        |
| <b>第 6 章 镍及镍合金的焊接 .....</b>  | <b>153</b> |
| 6.1 镍及镍合金的性能及焊接性特点 .....     | 153        |
| 6.1.1 镍及镍合金的分类 .....         | 153        |
| 6.1.2 镍及镍合金的成分和性能 .....      | 154        |
| 6.1.3 镍及镍合金的焊接性特点 .....      | 157        |
| 6.2 镍及镍合金的焊接工艺 .....         | 159        |
| 6.2.1 手工电弧焊 .....            | 159        |
| 6.2.2 气体保护焊 .....            | 162        |
| 6.2.3 埋弧焊 .....              | 166        |
| 6.2.4 钎焊与扩散焊 .....           | 168        |
| 6.2.5 其他焊接方法 .....           | 173        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 6.3 镍及其合金焊接实例 .....               | 178        |
| 6.3.1 镍基铸造合金炉筒的手工电弧焊 .....        | 178        |
| 6.3.2 镍合金裂解筒及纯镍管-板的 TIG 焊 .....   | 178        |
| 6.3.3 气轮机镍合金部件的电子束焊 .....         | 180        |
| <b>第 7 章 有色金属复合板的焊接 .....</b>     | <b>181</b> |
| 7.1 复合板的基本性能 .....                | 181        |
| 7.1.1 复合板的力学性能 .....              | 181        |
| 7.1.2 不锈钢复合板的种类与性能 .....          | 182        |
| 7.1.3 复合板的接头设计 .....              | 184        |
| 7.2 钛-钢复合板的焊接 .....               | 186        |
| 7.2.1 钛-钢复合板的分类及性能 .....          | 186        |
| 7.2.2 钛-钢复合板焊接工艺特点 .....          | 187        |
| 7.2.3 钛-钢复合板焊接实例 .....            | 189        |
| 7.3 不锈钢复合钢板的焊接 .....              | 189        |
| 7.3.1 不锈钢复合钢板的加工特点 .....          | 189        |
| 7.3.2 不锈钢复合钢板的焊接性特点 .....         | 190        |
| 7.3.3 不锈钢复合钢的焊接程序 .....           | 193        |
| 7.4 铜-钢复合板的焊接 .....               | 199        |
| 7.4.1 铜-钢复合板及焊接特点 .....           | 199        |
| 7.4.2 铜-钢复合板焊接工艺 .....            | 200        |
| 7.5 复合渗铝钢的焊接 .....                | 201        |
| 7.5.1 渗铝钢的特性及焊接性特点 .....          | 201        |
| 7.5.2 渗铝钢的焊接工艺 .....              | 203        |
| 7.5.3 渗铝钢的焊接接头性能 .....            | 204        |
| <b>第 8 章 低熔点、难熔及稀有金属的焊接 .....</b> | <b>209</b> |
| 8.1 低熔点有色金属的焊接 .....              | 209        |
| 8.1.1 铅及其合金的焊接 .....              | 209        |
| 8.1.2 铋及其合金的焊接 .....              | 216        |
| 8.2 难熔有色金属的焊接 .....               | 219        |
| 8.2.1 钨及其合金的焊接 .....              | 219        |
| 8.2.2 钼及其合金的焊接 .....              | 224        |
| 8.2.3 钽及其合金的焊接 .....              | 229        |



|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 8.2.4 铌及其合金的焊接 .....         | 233        |
| <b>8.3 异种难熔金属的焊接 .....</b>   | <b>237</b> |
| 8.3.1 钨与钢的焊接 .....           | 237        |
| 8.3.2 钽与钢的焊接 .....           | 239        |
| 8.3.3 钼与钢的焊接 .....           | 241        |
| <b>8.4 稀有贵金属的焊接 .....</b>    | <b>244</b> |
| 8.4.1 银及其合金的焊接 .....         | 244        |
| 8.4.2 金及其合金的焊接 .....         | 247        |
| 8.4.3 铂及其合金的焊接 .....         | 249        |
| <b>第9章 有色金属与钢的焊接 .....</b>   | <b>251</b> |
| <b>9.1 铝及铝合金与钢的焊接 .....</b>  | <b>251</b> |
| 9.1.1 铝及铝合金与钢的焊接特点 .....     | 251        |
| 9.1.2 铝及铝合金与钢的焊接工艺 .....     | 252        |
| 9.1.3 铝与钢的焊接实例 .....         | 257        |
| <b>9.2 铜及铜合金与钢的焊接 .....</b>  | <b>259</b> |
| 9.2.1 铜及铜合金与钢的焊接特点 .....     | 260        |
| 9.2.2 铜与低碳钢的焊接 .....         | 261        |
| 9.2.3 铜与不锈钢的焊接 .....         | 264        |
| 9.2.4 铜及铜合金与钢的焊接实例 .....     | 266        |
| <b>9.3 钛及钛合金与钢的焊接 .....</b>  | <b>268</b> |
| 9.3.1 钛及钛合金与钢的焊接特点 .....     | 268        |
| 9.3.2 钛及钛合金与钢的焊接工艺要点 .....   | 269        |
| <b>9.4 镍及镍合金与钢的焊接 .....</b>  | <b>272</b> |
| 9.4.1 镍及镍合金与钢的焊接特点 .....     | 272        |
| 9.4.2 镍及镍合金与钢的焊接工艺要点 .....   | 274        |
| 9.4.3 镍与钢的焊接实例 .....         | 277        |
| <b>9.5 其他有色金属与钢的焊接 .....</b> | <b>278</b> |
| 9.5.1 铍及铍合金与钢的焊接 .....       | 278        |
| 9.5.2 锆及锆合金与钢的焊接 .....       | 280        |
| 9.5.3 铅及铅合金与钢的焊接 .....       | 283        |
| <b>第10章 异种有色金属的焊接 .....</b>  | <b>285</b> |
| 10.1 铜与铝及铝合金的焊接 .....        | 285        |

|            |                    |     |
|------------|--------------------|-----|
| 10. 1. 1   | 铜与铝及铝合金的焊接特点 ..... | 285 |
| 10. 1. 2   | 铜与铝及铝合金的熔焊 .....   | 288 |
| 10. 1. 3   | 铜与铝及铝合金的压焊 .....   | 291 |
| 10. 1. 4   | 铜与铝及铝合金的钎焊 .....   | 296 |
| 10. 2      | 铜与钛及钛合金的焊接 .....   | 299 |
| 10. 2. 1   | 铜与钛及钛合金的焊接特点 ..... | 300 |
| 10. 2. 2   | 铜与钛及钛合金的氩弧焊 .....  | 300 |
| 10. 2. 3   | 铜与钛及钛合金的扩散焊 .....  | 301 |
| 10. 3      | 铜与镍及镍合金的焊接 .....   | 303 |
| 10. 3. 1   | 铜与镍及镍合金的焊接特点 ..... | 303 |
| 10. 3. 2   | 铜与镍及镍合金的焊接工艺 ..... | 303 |
| 10. 4      | 铜与钼的焊接 .....       | 305 |
| 10. 4. 1   | 铜与钼的焊接特点 .....     | 305 |
| 10. 4. 2   | 铜与钼的扩散焊 .....      | 305 |
| 10. 5      | 铝与钛、镁的焊接 .....     | 306 |
| 10. 5. 1   | 铝与钛及钛合金的焊接特点 ..... | 306 |
| 10. 5. 2   | 铝与钛及钛合金的焊接工艺 ..... | 307 |
| 10. 5. 3   | 铝与镁的焊接特点 .....     | 310 |
| 10. 5. 4   | 铝与镁的焊接工艺 .....     | 312 |
| 参考文献 ..... |                    | 317 |



# 第 1 章 概 述

有色金属种类和品种很多,在制造业和工程建设中应用十分广泛。当前全世界金属材料的总产量约 8 亿吨,其中有色金属材料占 5% 左右,处于补充地位,但有色金属的作用却是钢铁或其他材料无法代替的。近年来随着市场经济的发展,有色金属的应用越来越多,已从原来的航空航天部门逐渐扩展到电子、通信、汽车、交通运输和轻工领域等。有色金属结构的焊接也引起人们越来越多的关注。

## 1.1 有色金属的分类及性能

### 1.1.1 有色金属的分类及牌号

#### (1) 有色金属的分类

按密度和自然界中的蕴藏量可以对有色金属分类如下。

① 有色轻金属 指密度小于  $4.5\text{g}/\text{cm}^3$  的有色金属材料,包括铝、镁、钠、钾、钙等纯金属及其合金。这类有色金属的特点是:密度小 ( $0.53\sim 4.5\text{g}/\text{cm}^3$ )、化学活性大,与氧、硫、碳和卤族元素的化合物都相当稳定。在工业上应用最为广泛的是铝及铝合金,它的产量已超过有色金属总产量的  $1/3$ 。

② 有色重金属 指密度大于  $4.5\text{g}/\text{cm}^3$  的有色金属材料,包括铜、镍、铅、锌、锡等纯金属及其合金,在国民经济生产中占有最大比重的应用范围和具有特殊的用途。其中最常用的是铜及铜合金,是机械制造和电气设备的基本材料。

③ 贵金属 包括金、银和铂族元素及其合金,由于它们对氧和其他化学试剂的稳定性,而且在地壳中含量少,开采和提取较困难,故价格较贵,因而得名贵金属。这类材料的特点是:密度大 ( $10.4\sim 22.4\text{g}/\text{cm}^3$ )、熔点高 ( $916\sim 3000^\circ\text{C}$ )、化学性质稳定,能抗酸、碱腐蚀。一般用于电气、电子、航空航天以及高温仪器仪表等。

④ 半金属 包括硅、硒、碲、砷、硼五种元素,物理化学性质介于金属与非金属之间,故称半金属。如砷是非金属,但又能传热导电。这类有色金属根据各自特性,具有不同用途。硅是主要的半导体材料之一,高纯硒、碲、砷是制造化合物半导体的原料,硼是合金的添加元素。

⑤ 稀有金属 指那些在自然界中含量很少、分布稀疏或难以从原料中提取的金属，分为稀有轻金属和稀有高熔点金属两类。

a. 稀有轻金属 包括钛、铍、锂、铷、铯五种金属及其合金，主要特点是密度小、化学活性强。这类金属的氧化物和氯化物具有很高的化学稳定性，很难还原。

b. 稀有高熔点金属 又称为稀有难熔金属，包括钨、钼、钽、铌、锆、钎、钒、铪八种金属及其合金，特点是熔点高（均在 1700℃ 以上，最高的钨达 3400℃）、硬度高、抗腐蚀性强，可与一些非金属生成非常硬和难熔的稳定化合物，如碳化物、氮化物、硅化物和硼化物，这些化合物是生产硬质合金的重要材料。

由一种有色金属作为基体，加入另一种或几种金属或非金属组分所组成的既具有基体金属通性，又具有某种特定性能的物质，称为有色金属合金。

有色金属合金的分类方法很多，按基体金属可分为铝合金、铜合金、钛合金、镁合金、镍合金等；按其生产方法，又可分为铸造合金与变形合金；根据组成合金的元素数目，可分为二元合金、三元合金和多元合金。一般，合金组分的总含量小于 2.5% 的为低合金，总含量为 2.5%~10% 的为中合金，总含量大于 10% 的为高合金。

有色金属按纯度分为工业纯度和高纯度两类。以冶炼和压力加工方法生产出来的各种板材、管材、棒材、线材、型材等有色金属及其合金半成品材料，按金属及合金系统可分为铝及铝合金、镁及镁合金、铜及铜合金（紫铜、黄铜、青铜等）、镍及镍合金、钛及钛合金等。制造业常用的有色金属见表 1.1。

采用铸造方法制造的铸件和铸锭，可以直接浇铸成各种形状的机械零件。按不同的合金系统可分为铸造铝合金、铸造镁合金、铸造黄铜、铸造青铜等。

## （2）有色金属及合金的牌号

### 1) 纯金属加工产品

纯金属指的是提纯度高于一般工业生产用金属纯度的金属，再高于纯金属的纯度称为高纯金属。高纯金属主要用于研究和其他特殊用途，不同金属的高纯度成分标准是不同的。铝、铜的纯金属加工产品分别用汉语拼音字母 L、T（或英文字母 Al、Cu）加顺序号表示。

### 2) 合金加工产品

合金加工产品的代号，用汉语拼音字母、元素符号或汉语拼音字母及元素符号结合表示成分的数字组或顺序号表示。

① 铝合金 以铝为基础，加入一种或几种其他元素（如 Cu、Mg、Si、Mn 等）构成的合金，称为铝合金。由于纯铝强度低，应用受到限制，工业上多采用铝合金。铝合金密度小，有足够高的强度、塑性，耐蚀性好，大部分铝合金

表 1.1 制造业常用的有色金属

| 分 类 名 称 |                                      | 说 明                                                      |                                                             |
|---------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 纯金属     |                                      | 铜(纯铜)、铝、钛、镁、镍、锌、铅、锡等                                     |                                                             |
| 铜合金     | 黄铜                                   | 压力加工用、铸造用                                                | 普通黄铜(铜锌合金)                                                  |
|         |                                      |                                                          | 特殊黄铜(含有其他合金元素的黄铜):铝黄铜、铅黄铜、锡黄铜、硅黄铜、锰黄铜、钛黄铜、镍黄铜等              |
|         | 青铜                                   | 压力加工用、铸造用                                                | 锡青铜(铜锡合金,一般还含有磷、锌、铅等合金元素)                                   |
|         |                                      |                                                          | 特殊青铜(铜与除锌、锡、镍以外的其他合金元素的合金):铝青铜、硅青铜、锰青铜、铍青铜、锆青铜、铬青铜、镉青铜、镁青铜等 |
|         | 白铜                                   | 压力加工用                                                    | 普通白铜(铜镍合金)                                                  |
|         |                                      |                                                          | 特殊白铜(含有其他合金元素的白铜):锰白铜、铁白铜、锌白铜、铝白铜等                          |
| 铝合金     | 压力加工用(变形用)                           | 非热处理强化铝合金:防锈铝(铝-锰合金、铝-镁合金)                               |                                                             |
|         |                                      | 热处理强化铝合金:硬铝(铝-铜-镁或铝-铜-锰合金)、锻铝(铝-铜-镁-硅合金)、超硬铝(铝-铜-镁-锌合金)等 |                                                             |
|         | 铸造用                                  | 铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金、铝锌合金、铝稀土合金等                               |                                                             |
| 钛合金     | 压力加工用                                | 钛与铝、铜等合金元素的合金                                            |                                                             |
|         | 铸造用                                  | 钛与铝、铜等合金元素的合金                                            |                                                             |
| 镁合金     | 压力加工用                                | 镁铝合金、镁锰合金、镁锌合金等                                          |                                                             |
|         | 铸造用                                  | 镁锌合金、镁铝合金、镁稀土合金等                                         |                                                             |
| 镍合金     | 压力加工用                                | 镍硅合金、镍锰合金、镍铬合金、镍铜合金、镍钨合金等                                |                                                             |
| 锌合金     | 压力加工用                                | 锌铜合金、锌铝合金                                                |                                                             |
|         | 铸造用                                  | 锌铝合金                                                     |                                                             |
| 铅合金     | 压力加工用                                | 铅锡合金等                                                    |                                                             |
| 轴承合金    | 铅基轴承合金、锡基轴承合金、铜基轴承合金、铝基轴承合金          |                                                          |                                                             |
| 硬质合金    | 钨-钴合金、钨-钛-钽(铌)-钴合金、钨-钛-钴合金、碳化钛-镍-铝合金 |                                                          |                                                             |

可以经过热处理得到强化。铝合金在航空航天、汽车、电子制造业中得到广泛应用。

根据 GB/T 3190—1996 和 GB/T 16474—1996 的规定,纯铝和变形铝及铝合金牌号表示方法采用四位字符体系。牌号的第一位数字表示铝及铝合金的组别,从 1~7 分别表示纯铝,以 Cu、Mn、Si、Mg、Mg 和 Si ( $Mg_2Si$  相为强化相)、Zn 为主要合金元素的铝合金,8 表示以其他元素为主要合金元素的铝合金,9 为备用合金组。牌号的第二位字母表示纯铝或铝合金的改型情况;最后两位数字用以标识同一组中不同的铝合金或表示铝的纯度。

在最初的铝及铝合金牌号中,纯铝合金用“L”加表示合金组别的汉语拼音字母及顺序号表示。例如,防锈铝的代号为 LF、锻铝为 LD、硬铝为 LY、超硬铝为 LC、特殊铝为 LT、硬钎焊铝为 LQ。

② 铜合金 以铜为基体的合金称为铜合金,如各种黄铜、青铜和白铜。铜合金的牌号及其加工产品的代号用汉语拼音字母和元素符号或汉语拼音字母、元素符号并结合表示成分的数字组或顺序号表示,如普通黄铜用“H”

加基本元素铜的含量表示。三元以上黄铜用“H”加第二个主添加元素符号及除锌以外的成分数字组表示。如 68 黄铜表示为 H68，90-1 锡黄铜表示为 HSn90-1。

青铜用汉语拼音“Q”加第一个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示，如 6.5-0.1 锡青铜表示为 QSn6.5-0.1。白铜用汉语拼音“B”加镍含量表示，三元以上的白铜用“B”加第二个主添加元素符号及除基元素铜外的成分数字组表示，如 30 号白铜表示为 B30，3-12 锰白铜表示为 BMn3-12。

由于铜的蕴藏量有限，使用方面受到一定的限制。在某些工业部门过去用铜合金的零件，很多已改用其他材料（如铝合金、塑料等）制造。

③ 镁合金 以镁为基体的合金，常称之为超轻质合金。镁合金近年来在工业（如航空、电子、通信、仪表、汽车等行业）上的应用越来越多。由于镁合金具有密度小（比铝轻 1/3）、比强度（强度/密度）高、能承受较大的冲击载荷、有良好的切削加工性等优点，获得应用并具有广泛的应用前景。根据加工方法的不同，镁合金分为变形镁合金（压力加工）和铸造镁合金两大类。

常用有色金属及其合金产品牌号的表示方法见表 1.2。铜及铜合金材料状态代号见表 1.3。有色金属产品状态名称、特性及其汉语拼音字母的代号见表 1.4。

### 3) 铸造产品

GB/T 8063—94《铸造有色金属及其合金牌号表示方法》规定了采用化学元素符号和百分含量的表示方法。铸造有色金属牌号由“Z”和相应纯金属的化学元素符号及表明产品纯度百分含量的数字或用一短横加顺序号组成。如牌号 ZAl99.5，表示铸造纯铝，铝的最低名义百分含量为 99.5%。

当合金化元素多于两个时，合金牌号中应列出足以表明合金主要特性的元素符号及其名义百分含量的数字。合金化元素符号按其名义百分含量递减的次序排列，当百分含量相等时，按元素符号字母顺序排列。

除基体元素的名义百分含量不标注外，其他合金元素的百分含量标注于该元素符号之后。当合金元素含量规定为大于或等于 1% 的某个范围时，采用其平均含量，必要时也可用带一位小数的数字标注。合金含量小于 1% 时一般不标注。

对具有相同主成分，需要控制低间隙元素的合金，在牌号后的圆括弧内标注 EL1。对杂质限量要求严、性能高的优质合金，在牌号后面标注大写字母“A”，表示优质。

表 1.2 常用有色金属及其合金产品牌号的表示方法

| 分 类   | 牌 号 举 例 |                                     | 牌号表示方法说明                                                                                                                                                                                     |
|-------|---------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | 名 称     | 代 号                                 |                                                                                                                                                                                              |
| 铝及铝合金 | 纯铝      | 1A09                                | 1 A 09                                                                                                                                                                                       |
|       | 铝合金     | 2A50, 3A21                          | ① ② ③<br>① 组别代号, 1×××为纯铝, 2×××至 7×××系列分别为以铜、锰、硅、镁、镁+硅、锌为主要合金元素的铝合金, 8×××和 9×××系列为以其他合金元素为主要合金元素的铝合金和备用合金组<br>② A 表示原始纯铝, B—Y 表示铝合金的改型情况<br>③ 1×××系列(纯铝)表示最低铝百分含量; 2×××至 8×××系列用来区分同一组中不同的铝合金 |
| 铜及铜合金 | 纯铜      | T1, T2-M                            | Q Al 10-3-1.5 M                                                                                                                                                                              |
|       | 黄铜      | TU1, TUMn<br>H62, HSn90-1           | ① ② ③ ④ ⑤<br>① 分类代号: T 为纯铜, TU 为无氧铜, TK 为真空铜, H 为黄铜, Q 为青铜, B 为白铜                                                                                                                            |
|       | 青铜      | QSn4-3<br>QSn4-4-2.5<br>QAl10-3-1.5 | ② 主添加元素代号: 纯铜、一般黄铜、白铜不标; 三元以上黄铜、白铜为第二主添加元素(第一主添加元素分别为 Zn、Ni); 青铜为第一主添加元素                                                                                                                     |
|       | 白铜      | B25<br>BMn3-12                      | ③ 序号主添加元素含量(以百分之几表示): 纯铜中为金属顺序号; 黄铜中为 Cu 含量(Zn 为余数); 白铜为 Ni 或(Ni+Co)含量; 青铜为第一主添加元素含量                                                                                                         |
|       |         |                                     | ④ 添加元素量(以百分之几表示): 纯铜、一般黄铜、白铜无此数字; 三元以上黄铜、白铜为第二添加元素合金; 青铜为第二主添加元素含量<br>⑤ 状态代号, 见表 1.3                                                                                                         |
| 钛及钛合金 | —       | TA1-M, TA4                          | TA 1 M                                                                                                                                                                                       |
|       |         | TB2                                 | ① ② ③                                                                                                                                                                                        |
|       |         | TC1, TC4                            | ① 分类代号, 表示合金或合金组织类型: TA 为 $\alpha$ 型 Ti 合金; TB 为 $\beta$ 型 Ti 合金; TC 为 ( $\alpha+\beta$ ) 型 Ti 合金                                                                                            |
|       |         | TC9                                 | ② 金属或合金的顺序号<br>③ 状态代号, 见表 1.4                                                                                                                                                                |
| 镁合金   | —       | MB1                                 | MB 8 M                                                                                                                                                                                       |
|       |         | MB8-M                               | ① ② ③<br>① 分类代号: M 为纯镁; MB 为变形镁合金<br>② 金属或合金的顺序号<br>③ 状态代号, 见表 1.4                                                                                                                           |
| 镍及镍合金 | —       | N4, NY1                             | N Cu 28 2.5-1.5 M                                                                                                                                                                            |
|       |         | NSi0.19                             | ① ② ③ ④ ⑤                                                                                                                                                                                    |
|       |         | NMn2-2-1                            | ① 分类代号: N 为纯镍或镍合金; NY 为阳极镍                                                                                                                                                                   |
|       |         | NCu28-2.5-1.5                       | ② 主添加元素符号                                                                                                                                                                                    |
|       |         | NCr10                               | ③ 序号或主添加元素含量: 纯镍为顺序号; 主添加元素含量以百分之几表示<br>④ 添加元素含量: 以百分之几表示<br>⑤ 状态代号, 见表 1.4                                                                                                                  |

表 1.3 铜及铜合金材料状态代号

| 名 称                     | 采用的汉字及汉语拼音 |              | 代 号         |
|-------------------------|------------|--------------|-------------|
|                         | 汉 字        | 汉 语 拼 音      |             |
| 热加工                     | 热          | Re           | R           |
| 退火(焖火)                  | 焖(软)       | Men          | M           |
| 淬火                      | 淬          | Cui          | C           |
| 淬火后冷轧(冷作硬化)             | 淬、硬        | Cui ying     | CY          |
| 淬火(自然时效)                | 淬、自        | Cui zi       | CZ          |
| 淬火(人工时效)                | 淬、时        | Cui shi      | CS          |
| 硬                       | 硬          | Ying         | Y           |
| 3/4 硬、1/2 硬、1/3 硬、1/4 硬 | 硬          | Ying         | Y1、Y2、Y3、Y4 |
| 特硬                      | 特          | Te           | T           |
| 淬火后冷轧、人工时效              | 淬、硬、时      | Cui ying shi | CYS         |
| 热加工、人工时效                | 热、时        | Re shi       | RS          |
| 淬火、自然时效、冷作硬化            | 淬、自、硬      | Cui zi ying  | CZY         |
| 淬火、人工时效、冷作硬化            | 淬、时、硬      | Cui shi ying | CSY         |

表 1.4 有色金属产品状态名称、特性及其汉语拼音字母的代号

| 名 称         | 代号    | 名 称       | 代号    | 名 称               | 代号   |
|-------------|-------|-----------|-------|-------------------|------|
| (1)产品状态代号   |       | (2)产品特性代号 |       | (3)产品状态、特性代号组合举例  |      |
| 热加工(如热轧、热挤) | R     | 优质表面      | O     | 不包铝(热轧)           | BR   |
| 退火          | M     | 涂漆蒙皮板     | Q     | 不包铝(退火)           | BM   |
| 淬火          | C     | 加厚包铝的     | J     | 不包铝(淬火、冷作硬化)      | BCY  |
| 淬火后冷轧(冷作硬化) | CY    | 不包铝的      | B     | 不包铝(淬火、优质表面)      | BCO  |
| 淬火(自然时效)    | CZ    | 硬 质 合 金   | 表面涂层  | 不包铝(淬火、冷作硬化、优质表面) | BCYO |
| 淬火(人工时效)    | CS    |           | 添加碳化钨 | 优质表面(退火)          | MO   |
| 硬           | Y     |           | 添加碳化钨 | 优质表面淬火、自然时效       | CZO  |
| 3/4 硬、1/2 硬 | Y1、Y2 |           | 细颗粒   | 优质表面淬火、人工时效       | CSO  |
| 1/3 硬       | Y3    |           | 粗颗粒   | 淬火后冷轧、人工时效        | CYS  |
| 1/4 硬       | Y4    |           | 超细颗粒  | 热加工、人工时效          | RS   |
| 特硬          | T     |           | —     | 淬火、自然时效、冷作硬化、优质表面 | CZYO |

1.1.2 有色金属的主要特性及热处理

常用有色金属的主要特性见表 1.5。

表 1.5 常用有色金属的主要特性

| 序 号 | 名 称     | 主 要 特 性                                                                           |
|-----|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 铝及其合金   | 密度小(2.7g/cm <sup>3</sup> )、比强度高、耐蚀性好,导电性、导热性、反光性良好,塑性好,易加工成形和铸造各种零件               |
| 2   | 铜及其合金   | 有优良的导电性、导热性,较好的耐蚀性,较高的强度和高的塑性,易加工成形和铸造各种零件                                        |
| 3   | 钛及其合金   | 密度小(4.5g/cm <sup>3</sup> )、比强度高、高温强度高、硬度高、耐蚀性良好                                   |
| 4   | 镁及其合金   | 密度小(1.7g/cm <sup>3</sup> )、比强度和比刚度高,能承受大的冲击载荷,有良好的机械加工性能和抛光性能,对有机酸、碱类和液体燃料有较高的耐蚀性 |
| 5   | 镍及其合金   | 有较高的力学性能,耐热性、耐腐蚀性好,具有特殊的电、磁和热膨胀性能                                                 |
| 6   | 锌及其合金   | 有较高的力学性能,熔点低,易于加工成形和压铸成零件                                                         |
| 7   | 锡、铅及其合金 | 熔点低,耐磨、减摩性能好,耐腐蚀性好,铅的抗 X 射线和 γ 射线的穿透力强                                            |



有色金属热处理的方法很多,对于不同的目的和用途,采用不同的热处理工艺,如表 1.6 所示。有色金属及其合金压延材的交货状态见表 1.7。

表 1.6 有色金属的热处理

| 热处理类型 |          | 工艺方法                                                                |                                   | 目的及应用                                                           |
|-------|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 退火    | 1) 均匀化退火 | 加热温度为合金熔化温度下 20~30℃,保温时间不宜过长,加热速度和冷却速度一般不作严格规定(有相变的合金必须缓冷)          |                                   | 铸造后或加工前用于消除应力、降低硬度和提高塑性                                         |
|       | 2) 再结晶退火 | 加热温度高于再结晶温度,保温时间不宜过长,冷却可在空气中或水中进行,但有相变的合金不宜急冷                       |                                   | 改变材料的力学性能和物理性能,在某些情况下恢复到原来的性能                                   |
|       | 3) 低温退火  | 回复退火                                                                | 加热温度低于再结晶温度                       | 消除应力                                                            |
|       |          | 部分软化退火                                                              | 加热温度在合金再结晶开始和终止温度之间               | 消除应力和控制半硬产品的性能,避免应力腐蚀                                           |
| 淬火-时效 | 4) 光亮退火  |                                                                     | 在保护性气氛中或真空炉中退火、纯铜退火,气体中含氢量不应超过 3% | 防止氧化、节省酸洗经费,获得光亮表面,多用于铜和铜合金                                     |
|       | 1) 淬火    | 加热温度高于溶解度曲线且接近于共晶温度或固相线温度,可采用快速加热,冷却一般采用水冷,有些合金(如铸造铝合金)也采用油淬或其他冷却介质 |                                   | 淬火和时效是提高有色金属强度和硬度的一种有效方法(即可热处理强化)。淬火和时效应连续进行,多用于铝、硅、镁和铝铜合金以及铍青铜 |
|       |          | 2) 时效                                                               | 自然时效<br>人工时效                      | 对于淬火和时效效果不明显的合金,如黄铜、锡青铜和铝镁合金工业上不采用热处理强化                         |

表 1.7 有色金属及其合金压延材的交货状态

| 序 号 | 交 货 状 态 |                                                                  | 说 明                                                                                                                                                          |
|-----|---------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | 名 称     | 代 号                                                              |                                                                                                                                                              |
| 1   | 软状态     | M                                                                | 表示材料在冷加工后,经过退火。这种状态的材料,具有塑性高而强度和硬度低的特点                                                                                                                       |
| 2   | 硬状态     | Y                                                                | 这种状态的材料在冷加工后未经退火软化。它具有强度、硬度高,而塑性、韧性低的特点。有色金属还具有特硬状态,代号为 T                                                                                                    |
| 3   | 半硬状态    | Y <sub>1</sub> 、Y <sub>2</sub><br>Y <sub>3</sub> 、Y <sub>4</sub> | 半硬状态介于软状态和硬状态之间,表示材料在冷加工后,有一定程度的退火。半硬状态按加工变形程度和退火温度的不同,又可分为 3/4 硬、1/2 硬、1/3 硬、1/4 硬等几种,其代号依次为 Y <sub>1</sub> 、Y <sub>2</sub> 、Y <sub>3</sub> 、Y <sub>4</sub> |
| 4   | 热作状态    | R                                                                | 表示材料为热挤压状态。热轧和热挤压是在高温下进行的,因此在加工过程中不会发生加工硬化。这种状态的材料,其特性与软状态相似,但尺寸允许偏差和表面精度要求比软状态低                                                                             |

### 1.1.3 化学元素对有色金属性能的影响

化学元素对铝及其合金性能的影响见表 1.8。化学元素对铜及其合金性能的影响见表 1.9。