

工人技术教育读本

---

# 锻 工

(试 用 本)

上海市第一机电工业局工会编

本书所介绍的内容是锻造工人必须掌握的专业基本知识,内容包括锻造用原材料、钢的性能、金属加热、自由锻造工序、金属塑性变形基本原理、自由锻锤、自由锻造水压机、锻造加热炉、锻件重量计算、胎模锻造、模型锻造、高合金钢和有色金属的锻造、锻件冷却和热处理及质量检验、锻造工艺规程和锻造新工艺新技术等十五部分。

本书可供机械制造工厂举办的业余技术教育和技工学校教学参考使用,也可作锻造工人自学用。

## 锻 工

(试用本)

上海市第一机电工业局工会编

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092$  1/32 · 印张 10 7/8 · 字数 242 千字  
1973 年 10 月北京第一版 · 1973 年 10 月北京第一次印刷  
印数 000,001—205,000 · 定价 0.70 元

\*

统一书号: 15033 · 4188

## 说 明

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，广大职工为革命学习业务、文化和技术的要求日益迫切。为了适应这一形势，我们根据市总工会、局党委的指示，在有关工厂、学校支持下，组织了由工人、教师和技术人员三结合编写小组，编写了这套工人技术教育读本。

这套书初步定为 12 本，共分两类。一是基础课，共三本：机电数学、机械制图、机械基础；二是专业课，共九本：车工、钳工、刨工、铣工、磨工、铸工、锻工、电工、热处理。

这套书可供各机械制造工厂（或工种）举办的业余技术教育和技工学校教学参考使用。

由于我们水平较低，经验不够，这套书定会有不少缺点和问题，欢迎各单位提出批评和修改意见。

上海市第一机电工业局工会

一九七三年七月

# 目 次

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一章 锻造用原材料 .....          | 1  |
| 第一节 钢的分类和牌号 .....         | 1  |
| 第二节 钢锭、钢坯的组织 and 缺陷 ..... | 5  |
| 第三节 锻造用有色金属 .....         | 9  |
| 第二章 钢 的 性 能 .....         | 15 |
| 第一节 钢的机械性能及其测定方法 .....    | 15 |
| 第二节 钢的工艺性能 .....          | 23 |
| 第三章 金属加热 .....            | 25 |
| 第一节 钢的晶体构造及合金组织 .....     | 25 |
| 第二节 加热对钢的影响 .....         | 27 |
| 第三节 加热时产生的缺陷 .....        | 35 |
| 第四节 锻造温度范围的确定 .....       | 37 |
| 第五节 钢的加热规范 .....          | 41 |
| 第六节 加热温度测定方法 .....        | 48 |
| 第四章 自由锻造工序 .....          | 52 |
| 第一节 拔长 .....              | 52 |
| 第二节 镦粗 .....              | 58 |
| 第三节 冲孔 .....              | 62 |
| 第四节 切割 .....              | 69 |
| 第五节 弯曲 .....              | 72 |
| 第六节 扭转 .....              | 73 |
| 第七节 错移 .....              | 74 |
| 第八节 典型工艺举例 .....          | 75 |

## VIII

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第五章 金属塑性变形基本原理 .....        | 82  |
| 第一节 金属在锻造时的受力和变形 .....      | 82  |
| 第二节 塑性变形基本定律 .....          | 84  |
| 第三节 金属的加工硬化和再结晶 .....       | 87  |
| 第四节 影响金属塑性的因素 .....         | 90  |
| 第五节 金属在镦粗、拔长和冲孔时的变形 .....   | 91  |
| 第六节 塑性变形对金属组织和机械性能的影响 ..... | 96  |
| 第六章 自由锻锤 .....              | 100 |
| 第一节 蒸汽锤 .....               | 100 |
| 第二节 空气锤 .....               | 106 |
| 第三节 锻锤吨位的选择 .....           | 118 |
| 第四节 锻锤的维护和保养 .....          | 118 |
| 第七章 自由锻造水压机 .....           | 121 |
| 第一节 水压机的原理、特点和构造 .....      | 121 |
| 第二节 水压机的操纵、维护和吨位选择 .....    | 131 |
| 第三节 自由锻造水压机的辅助设备 .....      | 135 |
| 第八章 锻造加热炉 .....             | 141 |
| 第一节 燃料及其燃烧 .....            | 141 |
| 第二节 火焰反射炉 .....             | 143 |
| 第三节 煤气及燃油锻造加热炉 .....        | 147 |
| 第四节 电阻加热炉 .....             | 152 |
| 第五节 锻造加热炉的操作方法 .....        | 153 |
| 第九章 锻件重量计算 .....            | 157 |
| 第一节 金属圆盘计算器算料 .....         | 158 |
| 第二节 计算尺算料 .....             | 162 |
| 第三节 查表法算料 .....             | 167 |
| 第十章 胎模锻造 .....              | 172 |
| 第一节 胎模锻造的优缺点 .....          | 172 |
| 第二节 胎模种类 .....              | 173 |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| 第三节    | 胎模设计 .....          | 175 |
| 第四节    | 胎模材料选择 .....        | 190 |
| 第五节    | 设备吨位选择 .....        | 191 |
| 第六节    | 胎模的制造、使用和维护 .....   | 191 |
| 第七节    | 胎模锻造工艺举例 .....      | 193 |
| 第十一章   | 模型锻造 .....          | 203 |
| 第一节    | 模锻工艺概述 .....        | 203 |
| 第二节    | 模锻设备种类和构造特点 .....   | 203 |
| 第三节    | 锤锻模和切边模 .....       | 217 |
| 第四节    | 模锻件的缺陷 .....        | 227 |
| 第十二章   | 高合金钢和有色金属的锻造 .....  | 231 |
| 第一节    | 高合金钢的锻造 .....       | 231 |
| 第二节    | 有色金属的锻造 .....       | 240 |
| 第十三章   | 锻件冷却和热处理及质量检验 ..... | 246 |
| 第一节    | 锻件的冷却 .....         | 246 |
| 第二节    | 锻件的热处理 .....        | 249 |
| 第三节    | 锻件的质量检验 .....       | 256 |
| 第四节    | 锻件的清理 .....         | 259 |
| 第十四章   | 锻造工艺规程 .....        | 261 |
| 第一节    | 锻造工艺规程的编制 .....     | 261 |
| 第二节    | 锻造工艺规程示例 .....      | 269 |
| 第十五章   | 锻造新工艺新技术 .....      | 275 |
| 第一节    | 精密模锻 .....          | 275 |
| 第二节    | 高速锤上精密模锻 .....      | 277 |
| 第三节    | 扩孔 .....            | 282 |
| 第四节    | 电热顶锻 .....          | 284 |
| 第五节    | 热挤压 .....           | 285 |
| 附    录 | .....               | 287 |

# 第一章 锻造用原材料

## 第一节 钢的分类和牌号

钢是工业生产中应用很广的原材料。含碳量在 2% 以下的铁碳合金称为钢；含碳量在 2% 以上的称为铸铁。

钢在一定的外力作用下可以产生变形而不破坏，即它具有良好的可锻性，因此钢是锻造生产中应用最多的原材料。

### 一、钢的分类

#### 1. 按化学成分分类

按化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。在碳素钢中，随着含碳量的增加，钢的硬度和强度随之提高，而塑性、韧性则随之降低（含碳量在大于 0.9% 时，强度反而下降）。碳对碳素钢机械性能的影响见图 1-1。

碳素钢有低碳钢、中碳钢和高碳钢三类。低碳钢的含碳量在 0.25% 以下，它的塑性及韧性较高，而强度和硬度则较低。中碳钢的含碳量为 0.25~0.6%，韧性和强度中等。高碳钢的含碳量在 0.6% 以上，它的强度和硬度较高，而塑性及韧性则较低。

碳素钢中加入某些合金元素就是合金钢。合金元素的加入可以改善钢的机械性能、工艺性能，热处理性能，耐腐蚀性能以及改变钢的磁性。

加入的主要合金元素有：铬(Cr)，镍(Ni)，硅(Si)，锰(Mn)，铝(Al)，钨(W)，钼(Mo)，钒(V)，钛(Ti)，铜(Cu)，硼(B)，钴(Co)，铌(Nb)等。

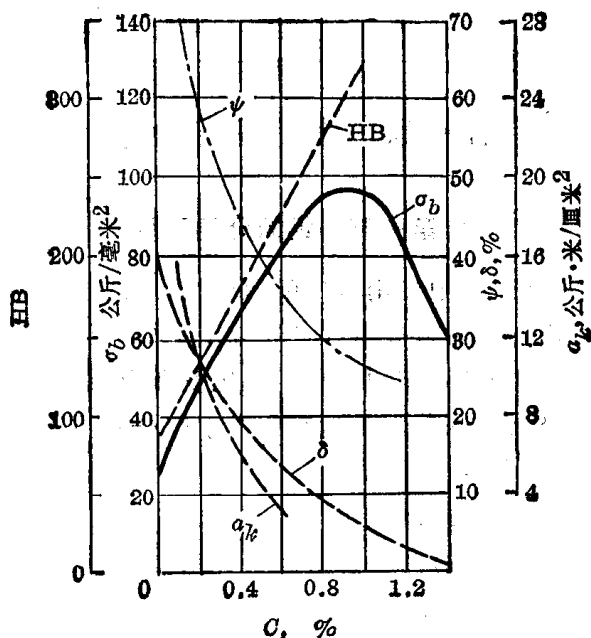


图 1-1 碳对碳素钢机械性能的影响

按合金元素总含量的多少, 合金钢可分为低合金钢(合金总含量小于 3.5%), 中合金钢(合金总含量为 3.5~10%)和高合金钢(合金总含量大于 10%)三类。

## 2. 按质量分类

根据钢中含硫磷等有害杂质的多少, 工业用钢可以分为普通钢, 优质钢和高级优质钢。

普通钢——钢中含硫量不超过 0.055~0.065%; 含磷量不超过 0.045~0.085%。

优质钢——钢中含硫量不超过 0.030~0.045%; 含磷量不超过 0.035~0.040%。

高级优质钢——钢中含硫量不超过 0.020~0.030%; 含

磷量不超过 0.027~0.035%。

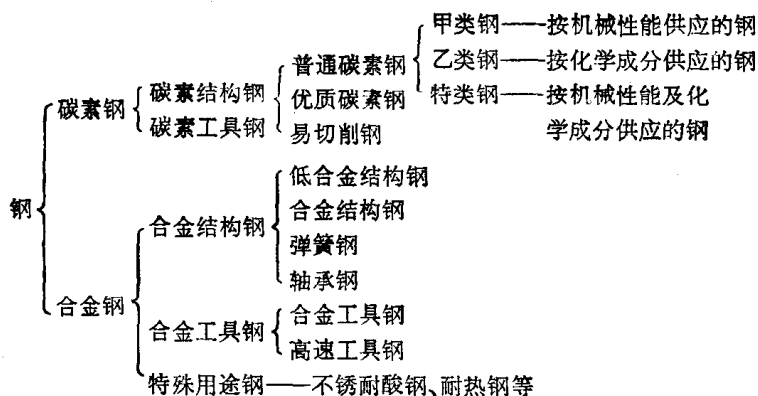
### 3. 按用途分类

(1) 结构钢：包括碳素结构钢和合金结构钢，含碳量一般在 0.12~0.60% 之间，用于工程结构和制造机械零件。

(2) 工具钢：是用来制造各种工具的，包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢等。按具体用途更可细分为刃具钢、量具钢和模具钢等。

(3) 特殊用途钢：是具有特殊用途和特殊性能的钢。如不锈钢、耐酸钢、耐热钢和磁钢等。

### 4. 综合分类



## 二、钢的牌号表示方法

### 1. 普通碳素钢

甲类钢 A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7;

乙类钢 B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7;

特类钢 C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7。

普通碳素钢牌号中数字表示不同的钢号，数字大表示钢的强度大，塑性低。还用字母 J 表示碱性转炉钢；用 S 表示酸

性转炉钢；用 F 表示沸腾钢。如 AJ3F，表示是用碱性转炉冶炼的甲类沸腾钢。

## 2. 优质碳素钢

优质碳素钢用含碳量万分之几的数字来表示，共有 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 等 17 种。如 40 表示平均含碳量在 0.4% 左右的优质碳素钢。

## 3. 碳素工具钢

碳素工具钢共有 T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13 等几种。字母 T 表示碳素工具钢，数字表示含碳量是千分之几。高级优质碳素工具钢在牌号后加一个字母 A。如 T8A 表示平均含碳量在 0.8% 左右的高级优质碳素工具钢。

## 4. 合金结构钢

合金结构钢的牌号如 30Mn2, 30Cr, 40Cr, 20CrMo, 35CrMn2, 12Cr3MoA, 38CrMoAlA, 20Cr3MoWVA 等等。牌号中头二位数字表示含碳量是万分之几。合金元素含量大于 1% 时用数字在元素代号后表示其含量是百分之几。高级优质钢用在牌后加一个字母 A 的方法来表示。例如 12Cr3MoA 表示平均含碳量在 0.12% 左右，含铬量在 3% 左右和含钼量在 0.25% 左右的高级优质合金结构钢 (Mo 的含量一般为 0.1~0.6%)。

## 5. 合金工具钢

常用的合金工具钢的牌号有：Cr12MoV, 3Cr2W8, CrWMn, 9SiCr, 8Cr3, 5CrNiMo, 5CrMnMo 和 W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2 等等。牌号中第一位数字表示含碳量是千分之几，当含碳量大于百分之一时则不标数字。合金元素的含量大于 1% 时用数字在元素代号后标出其含量是百分之几。例

如 3Cr2W8 表示含碳量在 0.3% 左右, 含铬 2% 左右, 含钨 8% 左右的合金工具钢。Cr12MoV 表示含碳量大于 1% (含碳量为 1.45~1.70%), 含铬 12% 左右, 还含有钼和钒的合金工具钢。

## 6. 不锈钢耐酸钢和耐热不起皮钢

牌号的表示方法与合金工具钢相同, 但含碳量一般不标出, 只有在重复情况或碳含量较高时才以含碳量的千分之几标明。例如: 1Cr18Ni9Ti 表示含碳量小于 0.12%, 含铬量为 17~19%, 含镍量为 8~11% 的不锈钢耐酸钢。Cr6SiMo 表示含碳量小于 0.15%, 含铬量为 5.0~6.5%, 含硅量为 1.5~2.0% 和含钼量为 0.45~0.60% 的耐热不起皮钢。

## 7. 铬滚动轴承钢

常用的铬滚动轴承钢有 GCr6, GCr9, GCr9SiMn, GCr15SiMn 等几种。牌号中 G 表示“滚”字, 数字表示含铬量是千分之几, Si, Mn 表示硅和锰的含量较高。这类钢的含碳量在 1% 左右。

# 第二节 钢锭、钢坯的组织 and 缺陷

## 一、钢锭的组织

钢锭和钢坯的质量对锻造过程和锻件质量有很大的影响。

钢锭是由金属液体在一定的浇注温度下浇入金属模中凝固而成。钢锭的形状有方的, 八角的, 圆的和扁的。浇注温度, 钢锭模材料, 钢锭形状等对钢锭的结晶组织都有影响。

如果将钢锭沿其纵、横的剖面进行研究, 则会发现其结构为三层形状不同的晶粒组织(图 1-2)。

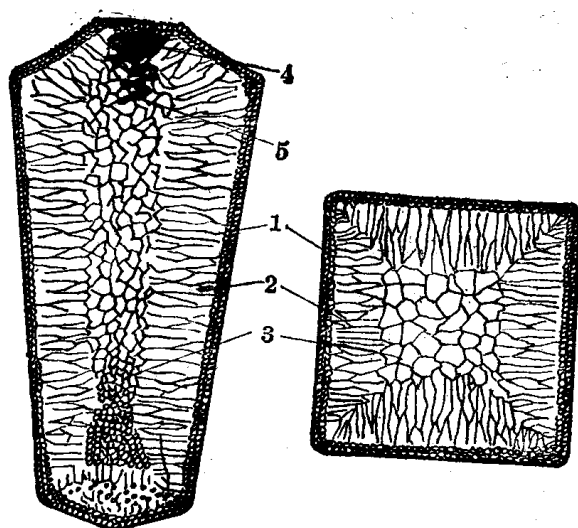


图 1-2 钢锭组织的构造示意图

1—表面细晶粒层；2—柱状晶粒层；3—中心等轴晶粒区；  
4—缩孔；5—疏松

### 1. 表面细晶粒层

形成原因主要是由于钢锭表面具有较大的冷却速度，因而得到细小的晶粒。

### 2. 柱状晶粒层

即紧接表面细晶粒层再向里所长出的一层长形的晶粒，它们的轴向都是垂直模壁的，这是因为在铸锭结晶时其热量都是垂直于模壁向外传播，由于散热方向的影响，便造成了各晶粒的定向成长。

### 3. 中心等轴晶粒区

这区的晶粒都接近于球形，而且较表面层的晶粒要粗大，这是因为在最后结晶的铸锭中心处散热方向的影响已不明显，各晶粒在均匀温度下朝各方向等速成长，于是便形成了接

近球形的晶粒。

## 二、钢锭的缺陷及其对锻造性能的影响

### 1. 穿晶

钢锭三层晶粒构造的厚度比例在不同情况下是不同的。如浇注钢水的温度较高,以及钢锭冷却速度较大时,铸锭中的柱状晶粒层便会得到显著的发展;在某些情况下,甚至会遇到全部截面都形成柱状晶粒,这种组织叫做“穿晶”。在钢锭的柱状晶粒的交界处(沿钢锭横剖面上的对角线处),常分布有易熔的杂质及非金属夹杂物,在随后进行钢锭的热锻和热轧时,就容易沿着该处发生破裂。所以,柱状晶粒层的厚度对锻造性能有较大的影响。

### 2. 缩孔及疏松

缩孔是因为钢液凝固时发生体积收缩而引起的,并且其周围往往存在着许多分散的小孔洞,这些小孔洞叫做疏松。为了使这些缺陷集中在钢锭的顶部,便于以后切除,所以在浇铸钢锭时,顶部都留有足够大的冒口。

### 3. 区域偏析

在缩孔附近,除了疏松以外,还聚集着各种杂质。因为在钢液中含有较多的碳、硫、磷等元素时,其熔点降低,最后发生凝固,所以杂质也易于集中在这最后凝固地区。这种现象即叫做区域偏析。当钢锭经锻造后切除其冒口部分时,这一偏析区也基本被切除。

### 4. 气泡及裂纹等

气泡的出现主要是由于在液体向固体转变时,钢水中及一些化学反应所形成的气体在钢锭凝固时未逸出所致。钢锭中的气泡及裂纹在锻压时如被焊合起来,则其危害不大。但在靠近钢锭表层下的气泡则常易在锻造时引起裂纹。

### 5. 非金属夹杂物

夹砂是在浇铸钢锭时，砂子和耐火材料的碎粒落入钢液内形成的；夹渣是由于钢液在凝固时熔渣未完全析出的结果，这两种统称为非金属夹杂物。非金属夹杂物在钢锭锻造时被粉碎而在钢锭组织中形成裂缝。夹杂物通常在钢锭的尾部沉积较多。所以在锻造时，应根据钢种和用途切去部分尾部。

### 6. 溅疤

这是采用上注法浇铸钢锭时，部分钢液冲击钢锭模底而飞溅起来附着在模壁上，不能和钢锭凝固成一体，而在冷却后形成的。

## 三、钢坯及其缺陷

锻造用的钢坯有锻坯和轧材两种。钢坯的形状可以是圆的、方的等。

在开坯过程中，钢锭缺陷的形状也发生了变化，表面的缺陷是沿着长度方向拉长了，内部缺陷有的改变了形状，有的消失了。由于开坯工艺不当也会产生缺陷。

钢坯的主要缺陷有下列几种(图 1-3)：

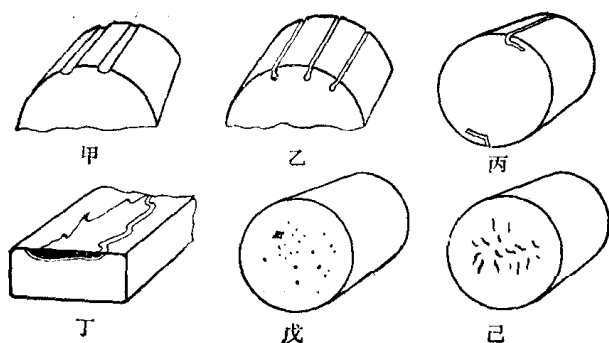


图 1-3 钢坯的缺陷

甲—伤痕；乙—发裂；丙—折迭；丁—结疤，  
戊—非金属夹杂物；己—白点

### 1. 伤痕、折迭和结疤

伤痕、折迭都是在轧钢时产生的。伤痕是在金属表面深约 0.2~0.3 毫米的擦伤细痕；折迭在直径的两端，方向相反、深度一般大于 0.5 毫米。结疤是钢锭上的溅疤经轧钢在表面上形成的可剥落的膜层，厚约 1.5 毫米。

### 2. 发裂

深度为 0.5~1.5 毫米的发状裂纹，它是由于钢锭的皮下气泡被拉长而成。发裂部分在锻造前必须除去。含碳量或合金元素含量高的钢材发裂特别危险，因为锻造前加热时，温度的急剧改变就会导致发裂向深处扩张而形成深的裂缝。

### 3. 非金属夹杂物

由于钢锭内有非金属杂质存在所致。一般情况下非金属夹杂物常沿着长度方向分布，形成“带状组织”。这种带状组织在以后的热处理过程中无法消除。非金属夹杂物集聚的地方，在锻造变形时能形成裂缝或发裂。

### 4. 白点

某些对白点敏感性较高的钢，如 40CrNi、35CrMo、9Cr、GCr15 等，经开坯后在断面尺寸较大和冷却不当时，由于氢气的存在使钢坯的纵断面上形成一种银白色的斑点，在横断面上表现为细小的裂纹。

钢中存在白点会大大降低钢的塑性和韧性，因而缩短零件的使用寿命以及引起严重的事故，所以对这类钢在开坯后要缓慢冷却，以减少白点产生的可能性。

## 第三节 锻造用有色金属

锻造用有色金属主要有铜及其合金，铝及其合金，还有镁、钛及其合金等，常用的是铜及铝。

## 一、铜及铜合金

### 1. 纯铜

纯铜是一种紫红色的金属，比重是 8.93 克/厘米<sup>3</sup>，熔点是 1083°C，有很好的塑性，导热性和导电性非常好，仅次于银。铜在海水和大气中有良好的耐蚀性，不易氧化。

纯铜的机械性能见表 1-1。

表 1-1 纯铜的机械性能

| 状 态   | $\sigma_b$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> ) | $\delta\%$ | HB      |
|-------|----------------------------------|------------|---------|
| 铸 造   | 15~20                            | 15~25      | —       |
| 锻压后退火 | 25~27                            | 40~50      | ~35     |
| 加工硬化  | 40~43                            | 1~2        | 100~120 |

我国用 T 表示工业用纯铜的牌号。纯铜的牌号和杂质含量见表 1-2。

表 1-2 纯铜的牌号和杂质含量

| 牌 号 | Cu%   | 杂质 (不超过 %) |       | 杂质总量 % |
|-----|-------|------------|-------|--------|
|     |       | Bi         | Pb    |        |
| T0  | 99.95 | 0.002      | 0.005 | 0.05   |
| T1  | 99.90 | 0.002      | 0.005 | 0.10   |
| T2  | 99.70 | 0.002      | 0.010 | 0.30   |
| T3  | 99.50 | 0.003      | 0.050 | 0.50   |
| T4  | 99.00 | 0.005      | 0.300 | 1.00   |

### 2. 黄铜

铜合金有黄铜和青铜两大类。黄铜是含锌小于 45% 的铜锌合金。除了锌以外还有其它合金元素的黄铜叫做特殊黄铜。

黄铜牌号用字母 H 表示，后面数字表示铜的含量，其余的是锌。如有其它合金元素，应注明主要的合金元素代号及含量。

〔例〕 H68 表示含铜 68%，含锌 32% 的黄铜。

HMn52-4-1 表示含铜 52%，锰 4%，铁 1%，锌 43% 的黄铜。

我国常用的黄铜和特殊黄铜的牌号、成分及性能见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 常用黄铜的牌号、成分及性能

| 牌 号   | 代 号 | 化 学 成 分 % |    | 退 火 后 的 机 械 性 能                  |            |    |
|-------|-----|-----------|----|----------------------------------|------------|----|
|       |     | Cu        | Zn | $\sigma_b$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> ) | $\delta\%$ | HB |
| 68 黄铜 | H68 | 67~70     | 其余 | 33                               | 56         | 59 |
| 62 黄铜 | H62 | 60.5~63.5 | 其余 | 36                               | 49         | 56 |

表 1-4 常用特殊黄铜的牌号、成分及性能

| 牌 号         | 代 号     | 化 学 成 分 % |     |         |         |    | 机 械 性 能                       |            |     |
|-------------|---------|-----------|-----|---------|---------|----|-------------------------------|------------|-----|
|             |         | Cu        | Mn  | Sn      | Si      | Zn | $\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup> | $\delta\%$ | HB  |
| 62-1<br>锡黄铜 | HSn62-1 | 61~63     |     | 0.7~1.1 |         | 其余 | 38                            | 37         | 85  |
| 58-2<br>锰黄铜 | HMn58-2 | 57~60     | 1~2 |         |         | 其余 | 50                            | 25         | 90  |
| 80-3<br>硅黄铜 | HSi80-3 | 79~81     |     |         | 2.5~4.5 | 其余 | 50                            | 15         | 100 |

### 3. 青铜

除黄铜以外的铜合金统称为青铜。青铜分为含锡的锡青铜和不含锡的特殊青铜两大类。特殊青铜中按其主要合金元素的不同，又可分为铝青铜，铍青铜，硅青铜等。

我国青铜的牌号用 Q 表示，编制方法与黄铜相似。

〔例〕 QSn10-1 表示含锡 10%，磷 1%，其余为铜的锡青铜。