

# 机械工程手册

第 12 篇~第 17 篇 材料部分

(试 用 本)

机械工程手册  
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

# 机械工程手册

第12篇～第17篇 材料部分

(试 用 本)

机械工程手册

电机工程手册

编辑委员会

机械工业出版社

本书主要介绍机械工业合理选择材料和正确使用材料的要点,着重提供各类材料的主要性能、特点、应用和有关的技术数据。全书共分钢、铸铁、非铁金属、粉末冶金、非金属材料、金属材料的物理试验与应用六篇。

**机 械 工 程 手 册**  
**第12篇~第17篇 材料部分**  
(试 用 本)

主 编 单 位

上 海 材 料 研 究 所 第 一 汽 车 制 造 厂  
冶 金 工 业 部 钢 铁 研 究 院 上 海 汽 轮 机 厂  
上 海 市 机 械 制 造 工 艺 研 究 所 中 南 矿 冶 学 院  
北 京 市 粉 末 冶 金 研 究 所 上 海 粉 末 冶 金 厂

\*

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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092^{1/16}$  · 印张 51 · 插页 18 · 字数 1.404 千字

1978 年 3 月北京第一版·1978 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—80,000 · 定价 4.35 元

\*

统一书号: 15033 · 4502

## 编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来,特别是无产阶级文化大革命以来,机械工业在伟大的领袖和导师毛泽东主席的无产阶级革命路线指引下,坚持政治挂帅,以阶级斗争为纲,贯彻“**独立自主、自力更生**”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学技术方面的经验,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》;使出版工作更好地为无产阶级政治服务,为工农兵服务,为社会主义服务。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。《手册》在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查,以便广大机电工人使用,有利于工人阶级技术队伍的发展和壮大。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求广大机电工人的意见, 坚持实行工人、技术人员和领导干部三结合的原则, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书是《机械工程手册》材料部分, 包括第12~17篇: 钢、铸铁、非铁金属、粉末冶金、非金属材料、金属材料的物理试验与应用共六篇, 由上海材料研究所、冶金工业部钢铁研究院、第一汽车制造厂、上海汽轮机厂、上海市机械制造工艺研究所、中南矿冶学院、北京市粉末冶金研究所、上海粉末冶金厂主编, 参加编写的共计四十个单位。此外还有许多单位提供数据和资料, 给予大力支持, 在此一并致谢。

机械工程手册 编辑委员会  
电机工程手册

## 第 12 篇 钢

**主编单位:**

冶金工业部钢铁研究院  
第一汽车制造厂  
上海汽轮机厂

**编写单位:**

上海交通大学  
上海材料研究所  
合肥通用机械研究所  
上海钢铁研究所  
汉川机床厂  
首都钢铁公司研究所  
天津大学  
洛阳轴承研究所  
成都工具研究所  
南京汽车制造厂  
天津工程机械研究所  
一机部农业机械研究所  
上海锅炉厂  
上海重型机器厂  
第二汽车制造厂

# 目 录

## 常用符号表

### 第1章 钢的生产和分类

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 1 钢的生产概要           | 12-1  |
| 1.1 钢的冶炼           | 12-1  |
| 1.2 钢的浇铸           | 12-4  |
| 1.3 钢的压力加工         | 12-6  |
| 1.4 钢材的热处理         | 12-8  |
| 2 钢的分类、品种规格和钢号表示方法 | 12-8  |
| 2.1 钢的分类           | 12-8  |
| 2.2 钢材的品种规格        | 12-9  |
| 2.3 钢号表示方法         | 12-12 |

### 第2章 合金元素在钢中的作用

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 1 概述                  | 12-14 |
| 1.1 钢中的元素与合金元素        | 12-14 |
| 1.2 合金元素在钢中的分布与存在状态   | 12-14 |
| 1.3 合金元素对铁碳系平衡相图的影响   | 12-15 |
| 2 合金元素对相变的影响          | 12-18 |
| 2.1 合金元素对钢加热时相变的影响    | 12-18 |
| 2.2 合金元素对钢冷却时相变的影响    | 12-19 |
| 2.3 合金元素对淬火回火转变的影响    | 12-20 |
| 3 合金元素对钢的性能的影响        | 12-21 |
| 3.1 合金元素对钢的机械性能的影响    | 12-21 |
| 3.2 合金元素对钢的工艺性能的影响    | 12-23 |
| 3.3 合金元素对钢的物理及化学性能的影响 | 12-24 |
| 4 合金元素在钢中的作用要点        | 12-25 |

### 第3章 普通碳素钢和低合金高强度钢

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 1 普通碳素钢的分类和性能数据         | 12-28 |
| 2 普通碳素钢的应用和专业用普通碳素钢     | 12-31 |
| 3 低合金高强度钢的特点和分类         | 12-31 |
| 4 低合金高强度钢的应用和专业用低合金高强度钢 | 12-37 |

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 5 普通碳素钢和低合金高强度钢的选用 | 12-39 |
| 5.1 强度             | 12-39 |
| 5.2 韧性和时效敏感性       | 12-39 |
| 5.3 工艺性能           | 12-40 |
| 5.4 使用环境和工作条件      | 12-40 |

#### 附：低合金高强度钢若干钢号的补充

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 性能数据                            | 12-40 |
| 16Mn, 15MnV, 15MnTi, 14MnVTiRE, |       |
| 15MnVN, 14MnMoV, 18MnMoNb,      |       |
| 12MnCrNiMoVCu                   |       |

### 第4章 压力容器用钢和低温用钢

|                  |       |
|------------------|-------|
| 1 压力容器用钢和低温用钢的分类 | 12-48 |
| 1.1 压力容器用钢       | 12-48 |
| 1.2 低温用钢         | 12-48 |
| 2 压力容器用钢和低温用钢的选用 | 12-49 |
| 2.1 强度           | 12-49 |
| 2.2 韧性           | 12-49 |
| 2.3 焊接性能和加工工艺性   | 12-50 |

#### 附：压力容器用钢和低温用钢若干钢

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 号的补充性能数据                         | 12-54 |
| A3R, 16MnR, 15MnVR, 18MnMoNbR,   |       |
| 14MnMoVBRE, 14MnMoNbB,           |       |
| 14CrMnMoVB, 09Mn2VR, 09MnTiCuRE, |       |
| 10Ni4(3.5%Ni), 06AlNbCuN,        |       |
| 1Ni9(9%Ni), 15Mn26Al4            |       |

### 第5章 超高强度钢

|               |       |
|---------------|-------|
| 1 超高强度钢的特点和分类 | 12-65 |
| 1.1 低合金超高强度钢  | 12-65 |
| 1.2 中合金超高强度钢  | 12-65 |
| 1.3 高合金超高强度钢  | 12-65 |
| 2 超高强度钢的选用    | 12-67 |
| 2.1 使用性能      | 12-67 |
| 2.2 对质量的要求    | 12-68 |
| 2.3 工艺性能      | 12-68 |

#### 附：超高强度钢若干钢号的补充

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 性能数据                       | 12-68 |
| 40CrNi2Mo, 37Si2MnCrNiMoV, |       |



## 12-IV 目 录

32Si2Mn2MoV, 30CrMnSiNi2, 4Cr5MoSiV,  
0Cr15Ni7Mo2Al, 1Cr12Mn5Ni4Mo3Al,  
00Ni18Co8Mo5TiAl

### 第6章 调质结构钢

- 1 调质钢的特点 .....12-77
- 2 调质钢的选用 .....12-80
  - 2.1 工艺性能.....12-80
  - 2.2 零件尺寸和钢材的淬透性.....12-80
  - 2.3 机械性能.....12-80
- 3 低碳马氏体钢 .....12-85
  - 3.1 低碳马氏体钢的特点.....12-85
  - 3.2 低碳马氏体钢选用举例.....12-86

附: 调质结构钢若干钢号的补充

性能数据.....12-87  
35, 45, 40Cr, 45Mn2, 40MnB, 35CrMo,  
30CrMnSi, 40CrNiMo

### 第7章 表面硬化钢

- 1 渗碳钢的特点 .....12-98
- 2 渗碳钢的选用 .....12-101
  - 2.1 工艺性能 .....12-101
  - 2.2 机械性能 .....13-102
  - 2.3 渗碳齿轮的强度和寿命 .....12-102
- 3 渗氮钢的特点和分类 .....12-103
- 4 渗氮钢的选用 .....12-105
  - 4.1 零件工作条件和机械性能 .....12-105
  - 4.2 工艺性能 .....12-105
  - 4.3 结合渗氮工艺选择钢种 .....12-105
- 5 高频淬火工艺及用钢的特点 .....12-106
  - 5.1 高频淬火工艺的特点 .....12-106
  - 5.2 高频淬火用钢的特点 .....12-106
- 6 低淬透性钢 .....12-107

附: 表面硬化钢若干钢号的补充

性能数据 .....12-107  
20, 20Cr, 20CrMnTi, 20Mn2TiB, 20MnVB,  
25MnTiBRE, 12Cr2Ni4A, 18Cr2Ni4WA,  
38CrMoAl, 55Tid, 60Tid

### 第8章 易切钢和冷冲压用钢

- 1 易切钢的特点 .....12-120

- 2 影响钢材被切削性的因素 .....12-126
  - 2.1 化学成分的影响 .....12-120
  - 2.2 金相组织的影响 .....12-121
- 3 易切钢的选用与常用易切钢数据...12-122
  - 3.1 易切钢的选用 .....12-122
  - 3.2 易切钢的性能数据 .....12-123
- 4 冷冲压钢板的特点 .....12-123
- 5 影响深冲冷轧薄板冲压性能的因素 .....12-124
  - 5.1 钢板的化学成分 .....12-124
  - 5.2 钢板的金相组织 .....12-124
  - 5.3 钢板的机械性能 .....12-125
  - 5.4 钢板的表面质量 .....12-126
  - 5.5 钢板的厚度尺寸公差 .....12-126
- 6 深冲冷轧薄钢板的选用 .....12-126
- 7 深冲冷轧薄板的性能数据 .....12-127
- 8 评定热轧钢板冲压性能的方法 .....12-127
- 9 影响热轧钢板冲压性能的因素 .....12-128
  - 9.1 钢板的化学成分 .....12-128
  - 9.2 钢板的轧制方法 .....12-128
  - 9.3 夹杂物的形态 .....12-129
  - 9.4 钢板的表面质量 .....12-130
  - 9.5 热轧钢板的厚度公差 .....12-130
- 10 冲压用热轧钢板的性能数据 .....12-130

### 第9章 弹簧钢

- 1 弹簧钢的特点和品种 .....12-131
  - 1.1 热轧弹簧钢 .....12-131
  - 1.2 冷拉弹簧钢丝 .....12-134
  - 1.3 特殊性能弹簧用钢和弹性合金 .....12-137
- 2 热轧弹簧钢的选用 .....12-138
  - 2.1 制造工艺 .....12-138
  - 2.2 机械性能 .....12-139
  - 2.3 弹簧尺寸和淬透性 .....12-141
  - 2.4 工作条件 .....12-141
- 3 冷拉弹簧钢丝的选用 .....12-141
  - 3.1 钢丝的供应状态 .....12-142
  - 3.2 钢丝的表面质量 .....12-142
  - 3.3 残余内应力 .....12-143
- 4 弹簧钢的热处理与强化处理 .....12-143
  - 4.1 热处理 .....12-143

|                |        |
|----------------|--------|
| 4.2 强化处理 ..... | 12-143 |
|----------------|--------|

#### 附：弹簧钢若干钢号的补充

|                                                     |        |
|-----------------------------------------------------|--------|
| 性能数据 .....                                          | 12-144 |
| 85, 65Mn, 60Si2Mn, 50CrVA, 50SiMnVB,<br>55SiMnMoVNb |        |

### 第10章 滚动轴承钢

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| 1 轴承钢质量要求和品种规格 .....        | 12-151 |
| 1.1 轴承钢冶金质量的一般要求 .....      | 12-151 |
| 1.2 轴承钢材的品种规格 .....         | 12-151 |
| 2 轴承钢的类别、成分、特点<br>和用途 ..... | 12-152 |
| 3 轴承钢的选用 .....              | 12-155 |
| 3.1 轴承的工作条件 .....           | 12-155 |
| 3.2 轴承的结构 .....             | 12-157 |
| 3.3 轴承钢的工艺性能 .....          | 12-157 |

#### 附：滚动轴承钢若干钢号的补充

|                                                                                                                                       |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 性能数据 .....                                                                                                                            | 12-158 |
| GCr15, GCr15SiMn, GSiMnV, GSiMnVRE,<br>GSiMnMoV, GSiMnMoVRE, GMnMoV,<br>GMnMoVRE, 20Cr2Ni4A, 20Cr2Mn2MoA,<br>9Cr18, Cr4Mo4V, 55SiMoVA |        |

### 第11章 工 具 钢

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| 1 工具钢的分类和用途 .....        | 12-174 |
| 1.1 碳素工具钢 .....          | 12-174 |
| 1.2 合金工具钢 .....          | 12-175 |
| 1.3 高速工具钢 .....          | 12-176 |
| 1.4 常用合金元素在工具钢中的作用 ..... | 12-178 |
| 2 工具钢的选用 .....           | 12-178 |
| 2.1 刃具用钢的选用 .....        | 12-179 |
| 2.2 量具用钢的选用 .....        | 12-180 |
| 2.3 模具用钢的选用 .....        | 12-180 |
| 3 工具钢的质量要求与热处理要点 .....   | 12-183 |
| 3.1 质量要求 .....           | 12-183 |
| 3.2 热处理要点 .....          | 12-183 |
| 3.3 常用工具钢的热处理规范 .....    | 12-184 |

#### 附：工具钢若干钢号的补充

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| 性能数据 .....                         | 12-186 |
| 9Mn2V, Cr12MoV, Cr4W2MoV, 5CrMnMo, |        |

|                                                                                                              |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 4Cr5MoSiV, 4Cr5W2SiV, 4Cr3W4Mo2TiNb,<br>W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2, W6Mo5Cr4V2Al,<br>W12Mo3Cr4V3Co5Si, W2Mo9Cr4VCo8 |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

### 第12章 耐磨钢和农机具耐磨零件用钢

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 1 耐磨钢与钢的耐磨性 .....                 | 12-197 |
| 1.1 耐磨钢简介 .....                   | 12-197 |
| 1.2 钢的耐磨性及其主要影响因素 .....           | 12-198 |
| 2 高锰钢 .....                       | 12-199 |
| 2.1 高锰钢的特点、化学成分和机械<br>性能 .....    | 12-199 |
| 2.2 高锰钢的应用 .....                  | 12-200 |
| 3 农机具耐磨零件用钢 .....                 | 12-202 |
| 3.1 农机具耐磨零件用钢的特点和<br>要求 .....     | 12-202 |
| 3.2 农机具耐磨零件用钢的选用 .....            | 12-202 |
| 3.3 农机具耐磨零件用钢的成分、<br>性能和热处理 ..... | 12-203 |

#### 附：农机具耐磨零件用钢的补充

|             |        |
|-------------|--------|
| 性能数据及 ..... | 12-206 |
| 65SiMnRE    |        |

### 第13章 耐 蚀 钢

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 1 概述 .....                     | 12-207 |
| 1.1 耐蚀钢的分类、特点和用途 .....         | 12-207 |
| 1.2 耐蚀钢和合金的化学成分及机械<br>性能 ..... | 12-207 |
| 1.3 主要的腐蚀类型 .....              | 12-216 |
| 2 耐蚀钢及耐蚀合金的选用 .....            | 12-216 |
| 2.1 合金元素对耐蚀性能的影响 .....         | 12-216 |
| 2.2 热处理 .....                  | 12-218 |
| 2.3 物理、机械性能和工艺性能 .....         | 12-218 |
| 2.4 使用环境 .....                 | 12-218 |
| 2.5 使用寿命 .....                 | 12-220 |
| 2.6 特殊的腐蚀 .....                | 12-220 |
| 3 典型介质中耐蚀钢及耐蚀合金<br>的选用 .....   | 12-222 |
| 3.1 耐硝酸腐蚀材料 .....              | 12-222 |
| 3.2 耐硫酸腐蚀材料 .....              | 12-223 |
| 3.3 耐盐酸腐蚀材料 .....              | 12-224 |
| 3.4 耐氢氟酸腐蚀材料 .....             | 12-224 |

## 12-VI 目 录

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 3.5 耐醋酸腐蚀材料 .....         | 12-225 |
| 3.6 耐磷酸腐蚀材料 .....         | 12-225 |
| 3.7 耐氢氧化钠腐蚀材料 .....       | 12-226 |
| 3.8 耐硫化物腐蚀材料 .....        | 12-227 |
| 3.9 耐海水腐蚀材料 .....         | 12-228 |
| 3.10 尿素设备耐腐蚀材料 .....      | 12-229 |
| 3.11 耐高温高压氢、氮、氨腐蚀材料 ..... | 12-229 |
| 4 常用的腐蚀试验方法 .....         | 12-229 |
| 4.1 均匀腐蚀试验 .....          | 12-230 |
| 4.2 不锈钢晶间腐蚀试验 .....       | 12-230 |
| 4.3 应力腐蚀开裂试验 .....        | 12-231 |
| 4.4 点腐蚀试验 .....           | 12-232 |

附：耐蚀钢若干钢号的补充

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| 性能数据 .....                            | 12-232 |
| 0Cr13, 1Cr13, 2Cr13, 9Cr18, 1Cr17Ni2, |        |
| 0Cr17Ti, 1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti,  |        |
| 00Cr18Ni10, 00Cr17Ni14Mo2,            |        |
| 0Cr17Ni4Cu4Nb, 0Cr17Mn13Mo2N,         |        |
| 1Cr17Mn9Ni3Mo3Cu2N,                   |        |
| 0Cr12Ni25Mo3Cu3Si2Nb(Ti)              |        |

## 第14章 耐 热 钢

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 1 耐热钢和耐热合金的分类 .....    | 12-245 |
| 1.1 按特性和用途分类 .....     | 12-245 |
| 1.2 按组织分类 .....        | 12-245 |
| 2 耐热钢和耐热合金的特点 .....    | 12-246 |
| 2.1 高温性能 .....         | 12-246 |
| 2.2 化学成分对抗氧化性的影响 ..... | 12-246 |
| 2.3 耐热钢和耐热合金的主要强化      |        |
| 方法 .....               | 12-247 |
| 2.4 制造工艺 .....         | 12-249 |
| 3 耐热钢和耐热合金的选用 .....    | 12-252 |
| 3.1 锅炉用耐热钢管 .....      | 12-252 |
| 3.2 汽轮机、燃气轮机和内燃机用      |        |
| 耐热钢和耐热合金 .....         | 12-255 |
| 3.3 紧固件用耐热钢和耐热合金 ..... | 12-264 |
| 3.4 炉用耐热钢 .....        | 12-269 |
| 3.5 炼油和化工设备用耐热钢 .....  | 12-269 |

附：耐热钢和耐热合金若干牌号的

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 补充性能 .....                     | 12-272 |
| 12Cr1MoV, 27Cr2Mo1V, 1Cr11MoV, |        |

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1Cr21Ti, 2Cr20Mn9Ni2Si2N,            |  |
| 5Cr21Mn9Ni4N, 1Cr23Ni18, Cr20Ni44MoW |  |
| (128合金), Cr14Ni25Mo(A-286),          |  |
| Cr14Ni40MoWTiAl(302合金), S-816        |  |

## 第15章 大型锻件用钢

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 1 制造工艺对大型锻件冶金质量       |        |
| 的影响 .....             | 12-287 |
| 1.1 冶炼和铸锭 .....       | 12-287 |
| 1.2 锻造 .....          | 12-282 |
| 1.3 热处理 .....         | 12-282 |
| 2 大型锻件用钢的选择 .....     | 12-282 |
| 2.1 机械性能和淬透性 .....    | 12-282 |
| 2.2 工作条件 .....        | 12-283 |
| 2.3 工艺性能 .....        | 12-283 |
| 3 一般大型锻件用钢 .....      | 12-284 |
| 3.1 碳素钢 .....         | 12-284 |
| 3.2 硅锰类钢 .....        | 12-287 |
| 3.3 铬钢、铬钼钢、铬锰钼钢 ..... | 12-289 |
| 3.4 铬锰钼硼钢 .....       | 12-290 |
| 3.5 铬镍钼(钨)钢 .....     | 12-291 |
| 4 电站锻件用钢 .....        | 12-292 |
| 4.1 发电机转子用钢 .....     | 12-294 |
| 4.2 护环用钢 .....        | 12-294 |
| 4.3 汽轮机高、中压转子用钢 ..... | 12-295 |
| 4.4 汽轮机低压转子用钢 .....   | 12-296 |
| 4.5 叶轮用钢 .....        | 12-296 |
| 5 锻造容器用钢 .....        | 12-297 |
| 5.1 一般容器用钢 .....      | 12-298 |
| 5.2 抗氢容器用钢 .....      | 12-299 |
| 6 轧辊用钢 .....          | 12-301 |
| 6.1 热轧辊用钢 .....       | 12-301 |
| 6.2 冷轧工作辊用钢 .....     | 12-302 |
| 6.3 支撑辊用钢 .....       | 12-305 |
| 6.4 矫正辊用钢 .....       | 12-306 |

附：大型锻件用钢若干钢号的补充

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| 性能数据 .....                          | 12-308 |
| 一般锻件用钢 .....                        | 12-308 |
| 20SiMnMo, 35SiMn, 50SiMn, 38SiMnMo, |        |
| 42MnMoV, 37SiMn2MoV, 40Cr, 35CrMo,  |        |

|                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 42CrMo, 35CrMnMo, 20Cr2Mn2Mo,       | 1.3 铸造性能和焊接性能 .....12-330  |
| 32Cr2MnMo, 18Cr2MnMoB, 30CrMn2MoB,  | 1.4 铸钢的类别 .....12-332      |
| 34CrNi3Mo, 18Cr2Ni4W。               | 2 一般铸钢 .....12-332         |
| 电站锻件用钢 .....12-320                  | 2.1 碳素铸钢 .....12-332       |
| 34CrMo1A, 34CrNi3Mo, 25CrNi3MoV,    | 2.2 低合金铸钢 .....12-333      |
| 26Cr2Ni4MoV, 40Mn18Cr4, 50Mn18Cr4,  | 3 耐蚀铸钢 .....12-336         |
| 50Mn18Cr4N, 50Mn18Cr4WN, 27Cr2Mo1V, | 3.1 马氏体耐蚀铸钢 .....12-338    |
| 28CrNiMoV, 17CrMo1V, 25Cr2NiMoV,    | 3.2 铁素体耐蚀铸钢 .....12-338    |
| 34CrMo, 35CrMoV, 34CrNi3Mo,         | 3.3 奥氏体耐蚀铸钢 .....12-339    |
| 18Cr2MnMoB                          | 4 耐热铸钢 .....12-340         |
| 锻造容器用钢 .....12-324                  | 4.1 珠光体耐热铸钢 .....12-342    |
| 20MnMo, 20MnMoNb, 14MnMoVB,         | 4.2 马氏体耐热铸钢 .....12-343    |
| 14CrMnMoVB, 42CrNi2Mo1V, 12Cr2Mo1,  | 4.3 铁素体耐热铸钢 .....12-343    |
| 21Cr3MoWV                           | 4.4 奥氏体耐热铸钢 .....12-343    |
| <b>第16章 铸 钢</b>                     | 5 水轮机转轮(叶片)用铸钢 .....12-346 |
| 1 铸钢的特点和类别 .....12-329              | 6 其他特殊用途铸钢 .....12-347     |
| 1.1 铸钢和锻钢的比较 .....12-329            | 6.1 无磁铸钢 .....12-347       |
| 1.2 尺寸因素——大截面铸钢件的                   | 6.2 电工用铸钢 .....12-348      |
| 机械性能 .....12-329                    | 6.3 模具用铸钢 .....12-348      |
|                                     | 参考文献 .....12-349           |

## 常用符号表

|                                               |                                                                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| A——奥氏体                                        | F——铁素体                                                                     |
| $\text{\AA}$ ——埃 $10^{-8}\text{cm}$           | $F$ ——力 kgf                                                                |
| $a$ ——试样厚度 mm                                 | $F$ ——面积                                                                   |
| $Ac_1$ ——加热下临界点(温度) $^{\circ}\text{C}$        | $FATT$ ——断口形貌转折温度 $^{\circ}\text{C}$                                       |
| $Ac_3$ ——亚共析钢加热上临界点(温度) $^{\circ}\text{C}$    | $f$ ——挠度                                                                   |
| $Ac_{cm}$ ——过共析钢加热上临界点(温度) $^{\circ}\text{C}$ | $G$ ——切变弹性模量 kgf/mm <sup>2</sup>                                           |
| $A_K$ ——冲击功 kgf·m                             | $H$ ——磁场强度 Oe                                                              |
| $a_K$ ——冲击韧性(梅氏试样) kgf·m/cm <sup>2</sup>      | $h$ ——高度                                                                   |
| $Ar_1$ ——冷却下临界点(温度) $^{\circ}\text{C}$        | HB——布氏硬度                                                                   |
| $Ar_3$ ——冷却上临界点(温度) $^{\circ}\text{C}$        | $H_c$ ——矫顽力 Oe                                                             |
| atm——标准大气压 压力单位                               | HK——奴氏(Knoop)硬度                                                            |
| at——工程大气压 kgf/cm <sup>2</sup>                 | HRA——洛氏A标度硬度                                                               |
| B——贝氏体                                        | HRB——洛氏B标度硬度                                                               |
| $B$ ——磁感应强度 G                                 | HRC——洛氏C标度硬度                                                               |
| $B_r$ ——剩余磁感 G                                | HS——肖氏硬度                                                                   |
| $B_s$ ——贝氏体转变开始温度 $^{\circ}\text{C}$          | HV——维氏硬度                                                                   |
| C——碳化物                                        | $I$ ——磁化强度 G                                                               |
| $c$ ——比热 cal/(g· $^{\circ}\text{C}$ )         | $I_s$ ——饱和磁化强度 G                                                           |
| cal——卡 热量单位                                   | $J_{Ic}$ ——临界J积分值 kgf/mm                                                   |
| $D$ ——管子外径                                    | $K_I, K_{II}, K_{III}$ ——应力强度因子 kgf/mm <sup><math>\frac{3}{2}</math></sup> |
| $D$ ——扩散系数                                    | $K_{Ic}$ ——平面应变断裂韧性 kgf/mm <sup><math>\frac{3}{2}</math></sup>             |
| $d$ ——直径                                      | $K_{Isc}$ ——应力腐蚀临界强度因子 kgf/mm <sup><math>\frac{3}{2}</math></sup>          |
| $E$ ——弹性模量 kgf/mm <sup>2</sup>                |                                                                            |

## 12-Ⅶ 常用符号表

|                                                                                 |                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| kgf——公斤力 力的单位                                                                   | $\mu$ ——磁导率 H/m                                                                        |
| L——液态相                                                                          | $\nu$ ——泊松比                                                                            |
| $L$ ——长度                                                                        | $\rho$ ——电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$                                                  |
| $l$ ——长度                                                                        | $\rho$ ——密度 $\text{g/cm}^3$                                                            |
| M——马氏体                                                                          | $\sigma$ —— $\sigma$ 相                                                                 |
| $M_f$ ——马氏体转变终了温度 $^{\circ}\text{C}$                                            | $\sigma$ ——应力 $\text{kgf/mm}^2$                                                        |
| $M_s$ ——马氏体转变开始温度 $^{\circ}\text{C}$                                            | $\sigma_{-1}$ ——光滑试样对称弯曲应力的疲劳极限 $\text{kgf/mm}^2$                                      |
| $N$ ——疲劳寿命 周次                                                                   | $\sigma_{-1k}$ ——缺口试样对称弯曲应力的疲劳极限 $\text{kgf/mm}^2$                                     |
| NDT——无延性转折温度 $^{\circ}\text{C}$                                                 | $\sigma_{x/10^y}$ ——蠕变强度, 例如: $\sigma_{1/10^4}$ 表示10000小时内产生1%变形量的应力 $\text{kgf/mm}^2$ |
| $P$ ——压力 $\text{kgf/cm}^2$                                                      | $\sigma_{10^y}$ ——持久抗拉强度, 如: $\sigma_{10^4}$ 表示10000小时断裂的最大抗拉应力 $\text{kgf/mm}^2$      |
| $R$ ——伦琴 X射线的剂量单位                                                               | $\sigma_{10000}$ ——松弛应力, $\sigma_0$ 表示初应力, 10000 表示径10000小时的应力, $\text{kgf/mm}^2$      |
| $R$ ——腐蚀率 $\text{mm/a}$                                                         | $\sigma_b$ ——抗拉强度 $\text{kgf/mm}^2$                                                    |
| $S$ ——面积                                                                        | $\sigma_{bb}$ ——抗弯强度 $\text{kgf/mm}^2$                                                 |
| $S$ ——管壁厚度                                                                      | $\sigma_{bc}$ ——抗压强度 $\text{kgf/mm}^2$                                                 |
| $s$ ——秒 时间单位                                                                    | $\sigma_{bn}$ ——缺口抗拉强度 $\text{kgf/mm}^2$                                               |
| $T$ ——温度 $^{\circ}\text{K}$                                                     | $\sigma_e$ ——弹性极限 $\text{kgf/mm}^2$                                                    |
| $t$ ——温度 $^{\circ}\text{C}$                                                     | $\sigma_N$ ——循环 $N$ 周次的疲劳强度 $\text{kgf/mm}^2$                                          |
| Torr——托 一毫米汞柱压力单位                                                               | $\sigma_p$ ——比例极限 $\text{kgf/mm}^2$                                                    |
| $a$ ——年 时间单位                                                                    | $\sigma_s$ ——屈服点 $\text{kgf/mm}^2$                                                     |
| $\alpha$ —— $\alpha$ 相                                                          | $\sigma_{sc}$ ——应力腐蚀开裂临界应力 $\text{kgf/mm}^2$                                           |
| $\alpha$ ——线胀系数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$                                      | $\sigma_{sL}$ ——下屈服点 $\text{kgf/mm}^2$                                                 |
| $\alpha$ ——电阻温度系数 $1/^{\circ}\text{C}$                                          | $\sigma_{su}$ ——上屈服点 $\text{kgf/mm}^2$                                                 |
| $a_k$ ——冲击韧性 $\text{kgf/cm}^2$                                                  | $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度 $\text{kgf/mm}^2$                                                |
| $\beta$ —— $\beta$ 相                                                            | $\tau$ ——切应力 $\text{kgf/mm}^2$                                                         |
| $\gamma$ —— $\gamma$ 相                                                          | $\tau_{-1}$ ——光滑试样扭转应力的疲劳极限 $\text{kgf/mm}^2$                                          |
| $\gamma$ ——比重                                                                   | $\tau_b$ ——抗切强度 $\text{kgf/mm}^2$                                                      |
| $\gamma$ ——电导率                                                                  | $\phi$ ——直径                                                                            |
| $\Delta l$ ——伸长 $\text{mm}$                                                     | $\psi$ ——断面收缩率(面缩率) %                                                                  |
| $\delta$ —— $\delta$ 相                                                          |                                                                                        |
| $\delta_x$ ——延伸率 %                                                              |                                                                                        |
| $\delta_c$ ——临界裂纹张开位移值 $\text{mm}$                                              |                                                                                        |
| $\varepsilon$ ——应变 %                                                            |                                                                                        |
| $\varepsilon$ —— $\varepsilon$ 相                                                |                                                                                        |
| $\lambda$ ——导热系数 $\text{cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$ |                                                                                        |

# 第1章 钢的生产和分类

## 1 钢的生产概要

机械工业用钢中，除铸、锻件外，数量最大的是钢材，如板、管、棒、丝、带及型材。这些钢材

的生产过程大致如图 12·1-1 所示。钢材的质量和性能，与生产工艺密切相关，要求生产过程中的每道工序和环节按工艺技术条件严格控制。

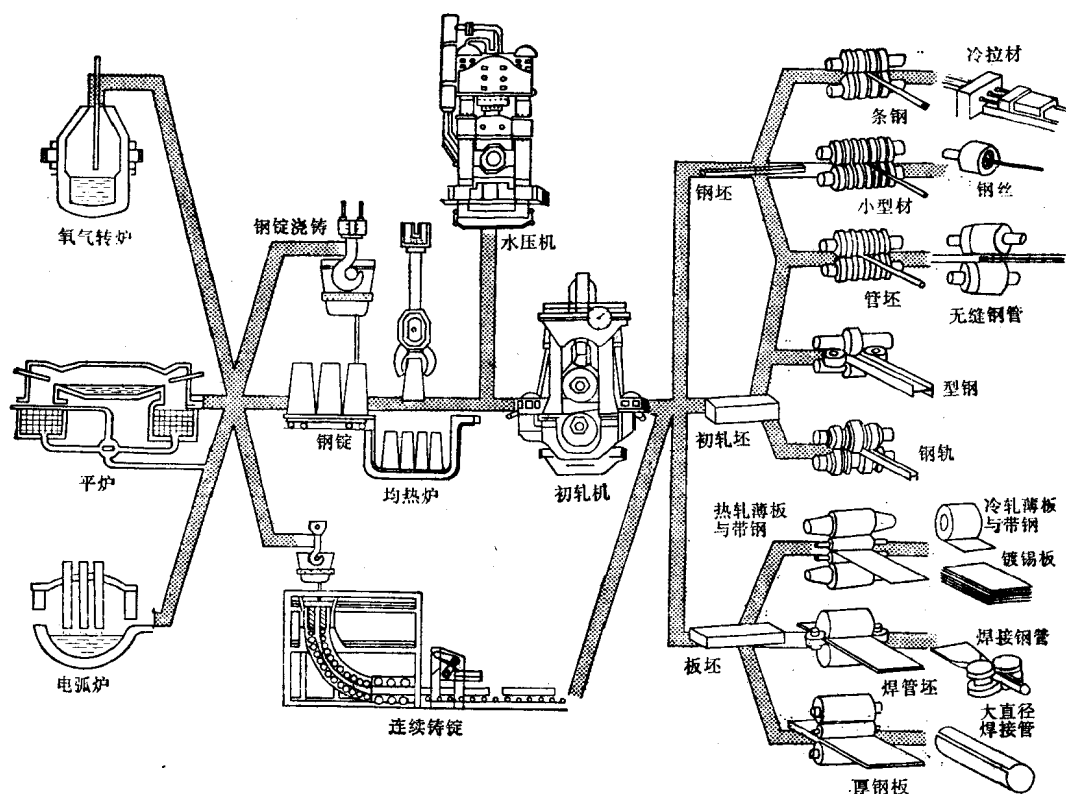


图12-1-1 钢材生产过程简图

### 1.1 钢的冶炼

炼钢的基本原料是炼钢生铁和废钢；此外，还有各种铁合金和金属，用以调整钢的化学成分；还要加入各种造渣和辅助材料，以除去杂质，保证钢的纯洁度和质量。

炼钢的主要任务是根据所炼钢种和对质量的要求，调整钢中碳和合金元素含量至规定范围之内，并使磷、硫、氢、氧、氮等杂质的含量降至允许限量之下。

#### 1.1.1 炼钢炉和炼钢方法

炼钢炉，主要有转炉、平炉和电弧炉三大类，为满足特殊需要还有电渣炉、感应炉、电子束炉、等离子炉等。图 12·1-2 所示为几种特殊用途的炼钢炉。各种炼钢炉的特点与用途见表 12·1-1。

转炉和平炉炼钢的主要过程是氧化过程。炉料中过剩的碳被氧化成  $\text{CO}$  气体而排出，其他杂质如硅、磷、锰等氧化后则进入炉渣中。硫部分进入渣

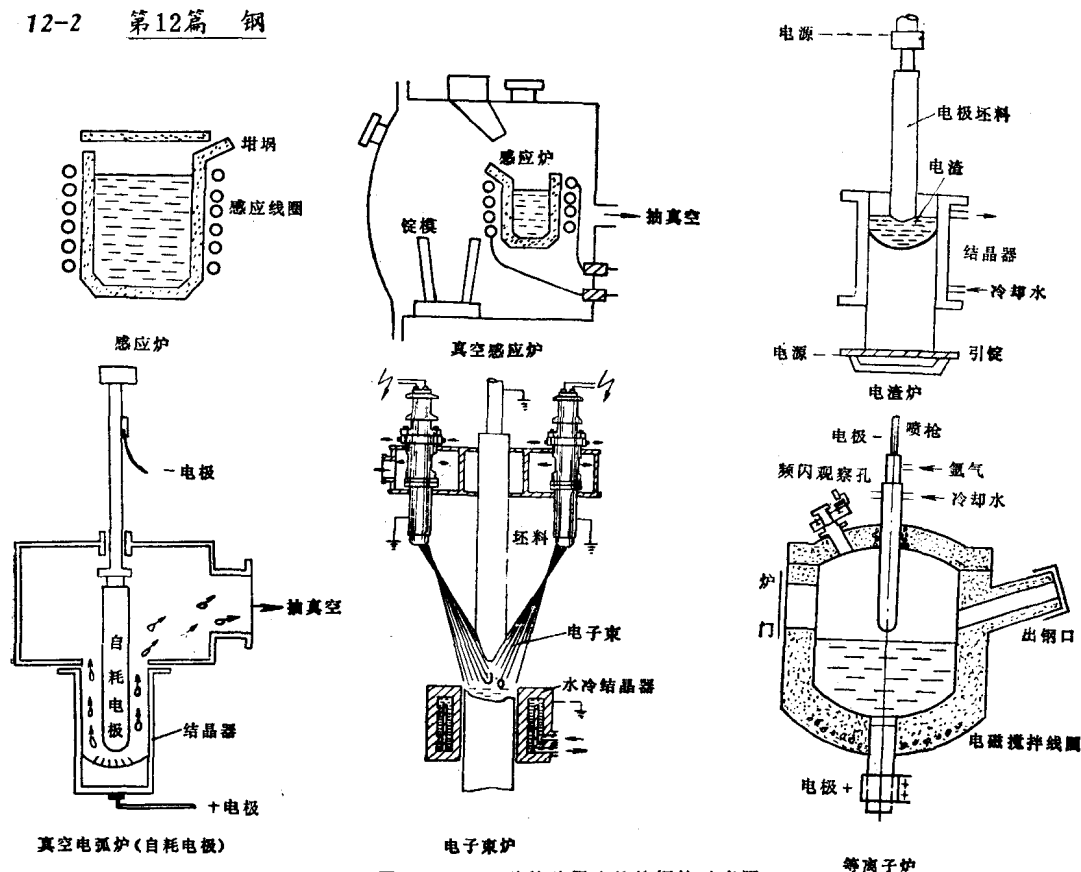


图12-1-2 几种特殊用途的炼钢炉示意图

表12-1-1 各种炼钢炉的特点与用途

| 炼钢炉             | 热 源                          | 主要原料             | 主 要 特 点                                             | 用途举例                 |
|-----------------|------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|
| 氧气转炉            | 炼钢生铁中所含碳、硅、锰、磷等元素所产生的氧化反应化学热 | 液态炼钢生铁、废钢        | 冶炼速度快，生产效率高，钢的品种质量与平炉钢大致相当                          | 冶炼各种碳素钢和低合金钢，用于大量生产  |
| 平 炉             | 重油、人造燃气、(发生炉气、焦炉气、高炉气)、天然气   | 炼钢生铁、废钢          | 容量大，炉料中废钢比例不限，冶炼时间较长，工艺过程容易控制。采用吹氧技术，可显著提高生产效率      | 冶炼各种碳素钢和低合金钢，用于大量生产  |
| 电 弧 炉           | 交流电弧                         | 废钢               | 炉料通用性大，炉内气氛可以控制，钢水脱氧良好，能冶炼含易氧化元素和难熔金属的钢种，产品多样化      | 冶炼各种合金钢和优质碳素钢，用于大量生产 |
| 电 渣 炉           | 电渣电阻热                        | 铸造或锻压的坯料         | 由于渣洗作用，脱氧、脱硫效果显著，钢的纯洁度较高，钢锭致密、偏析减少，自下而上顺序凝固，能改善加工性能 | 精炼合金钢和各种合金材料         |
| 感应炉<br>(真空感应炉)  | 感应电流                         | 优质废钢中间合金(工业纯金属料) | 脱硫、脱磷效果不如电弧炉，要用优质炉料，但可避免电极增碳，钢中氮含量也较低，能冶炼含易氧化元素的钢种  | 冶炼优质高合金钢和其他特种合金      |
| 真空电弧炉<br>(自耗电极) | 直流电弧                         | 铸造、锻压或粉末烧结的坯料    | 高温高真空下，使夹杂和气体含量显著降低，钢的纯洁度高，成分和性能稳定性好                | 高合金钢和难熔合金的精炼         |
| 电子束炉            | 电子束                          | 同 上              | 高真空电子束精炼，气体和夹杂含量大大降低，钢锭特别致密，纯洁                      | 难熔金属和超合金的精炼          |
| 等离子炉            | 等离子体电弧                       | 同感应炉             | 熔炼温度高，熔化速度快，比容量相同的感应炉耗电量少，对成分控制、脱氧、去气、去硫作用均较好       | 低熔点合金到高熔点合金均可熔炼      |

中,部分作为  $\text{SO}_2$  排出。当钢水的成分和温度达到要求后就可以出钢。为了去除钢中过剩的氧,并调整化学成分到规定含量,须按所炼钢种的需要加脱氧剂和铁合金以及合金元素。这些物料有的在出钢前加到炉内,有的在出钢时加到盛钢桶内。

碱性电弧炉炼钢的基本物理化学反应和转炉、平炉相同,冶炼工艺过程是:熔化期 $\rightarrow$ 氧化期 $\rightarrow$ 还原期 $\rightarrow$ 出钢。熔化期要求做到:迅速熔化炉料,去除钢中的磷,防止金属挥发和钢水吸氧。氧化期主要是:继续最大限度去磷,去除钢中气体和夹杂,钢水加热到出钢温度以上。还原期主要是:去除钢中氧和硫,最后调整化学成分到规定含量,调整钢水温度,以创造良好的脱氧、去除夹杂和脱硫条件,保证正常浇注。

由于炼钢时选用的原材料、冶炼操作方法与炉渣性质,以及炉衬材料的不同,炼钢方法和炼钢炉有碱性与酸性之分。碱性法炉渣主要成分为  $\text{CaO}$ ,保持高的碱度 ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 2$ ),通过钢渣反应,可用以除去炉料中的大部分磷和硫,因而对炉料的要求不太严格,允许有较高的硫、磷含量;机械工业用钢绝大部分是用碱性法冶炼的。酸性法炉渣中含  $\text{SiO}_2$  较高 ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2 < 1$ ),高温下脱氧效果较好,生成的氧化物较易浮出,钢中气体含量也较低;钢的质量对某些特殊用途来说较为合适。但酸性法不能去除硫、磷,对炉料要求严格,应用受到很大限制。

为了提高钢的质量,采用转炉或电炉加炉外精炼与真空处理生产优质钢和合金钢已受到普遍重视,如氩氧精炼(AOD法)、真空脱碳(VOD法、RH-OB法)、电弧加热盛钢桶精炼(ASEA-SKF法、VAD法)、盛钢桶搅拌脱气法、真空环流法和升降法(RH法、DH法)等。

### 1.1.2 钢中的气体和脱氧工艺

冶炼过程中,存在于钢中的气体主要有氮、氢、氧。

氮随炉料及铁合金而带入钢中,在冶炼过程中钢水又从空气中吸收一部分氮。氮在一定的条件下,是一种重要的合金元素。但氮在钢中也有不利影响,如对低碳钢,可导致时效和兰脆现象。钢中残留的氮含量的多少取决于冶炼方法和钢的成分。例如,氧气转炉钢比空气吹炼的转炉钢氮含量

显著降低,平炉冶炼的碳素钢一般比电炉冶炼的氮含量低。若钢中含有氮化物形成元素,如铬、铝、钒、钛时,则钢中的残留氮含量将急剧增加。

氢在冶炼过程中由锈蚀含水的炉料混入钢中,也从潮湿的大气中被吸入。氢虽然也可起某些合金化的作用,但它在钢中造成很多严重的缺陷,如白点、点状偏析、氢脆以及焊缝热影响区的裂纹等,所以在冶炼与浇注操作中应采取措施,尽量降低氢的含量。

氧在炼钢过程中对物理化学反应,起着主要和积极的作用,借氧化渣中的氧或直接吹入的氧气把炉料中残存的和过多的元素氧化掉,使之进入炉渣或成为气体逸出炉外。但炼钢最后阶段的脱氧,不可能将氧完全去掉。这些以不同状态残留在钢中的氧,除特殊需要外,一般对钢的性能产生不利影响。

表12-1-2为不同冶炼方法的钢中气体含量比较。随着真空技术的发展,去气脱氧效果显著。

炼钢脱氧工艺、钢水脱氧程度与钢的性能、质量有密切关系。当加入足够数量的强脱氧剂(硅、铝),使钢水脱氧良好,在钢锭模内凝固时不产生CO气体,钢水保持平静,这样生产的钢叫做镇静钢。如控制脱氧剂种类和加入量(主要是锰),使钢水中残留一定量的氧,在凝固过程中形成CO气体逸出,产生“沸腾”现象,这类钢叫做沸腾钢。还有一些脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间的钢,叫做半镇静钢。上述三类钢的钢锭内部结构如图12-1-3所示,它们的特点和性能比较见表12-1-3。

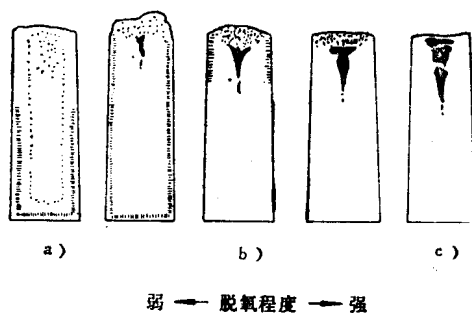


图12-1-3 沸腾钢、半镇静钢和镇静钢  
钢锭内部结构示意图

a—沸腾钢锭 b—半镇静钢锭 c—镇静钢锭



表12-1-2 不同冶炼方法钢中气体含量比较实例

ppm

| 冶 炼 方 法      |       | 低合金钢(0.25%C)   |                |                | 高合金钢(不锈钢, 耐热钢) |                |                |
|--------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              |       | H <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |
| 大气中冶炼        | 酸性平炉  | 1~6            | 50~150         | 50~150         | —              | —              | —              |
|              | 碱性平炉  | 2~10           | 75~250         | 40~125         | —              | —              | —              |
|              | 碱性电弧炉 | 1~20           | 50~125         | 30~500         | 5~15           | 10~200         | 50~600         |
|              | 高频感应炉 | —              | —              | —              | 1~10           | 20~250         | 100~700        |
| 真空熔炼<br>(处理) | 真空感应炉 | <1             | 5~15           | 5~50           | <1~2           | 5~125          | 20~200         |
|              | 真空自耗炉 | <1~2           | 5~25           | 10~100         | <1~2           | 10~100         | 20~200         |
|              | 真空脱气  | 1~4            | 10~100         | 25~100         | <1~5           | 10~100         | 50~300         |

表12-1-3 镇静钢、半镇静钢和沸腾钢的特点、性能比较

| 项           | 目      | 镇 静 钢                                                       | 半 镇 静 钢                           | 沸 腾 钢                                     |
|-------------|--------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| 脱氧程度        |        | 脱氧较完全, 钢水在钢锭模内凝固过程中保持平静, 基本上无CO气泡产生                         | 进行中等程度的脱氧, 使钢水在钢锭模内凝固过程中维持一定的沸腾现象 | 不用硅和铝脱氧, 保留足以导致钢水在钢锭模内产生适当沸腾现象的氧含量        |
| 钢 锭 特 点     | 成分上的限制 | 无特殊限制                                                       | 碳与硅含量一般分别不大于0.25%与0.17%           | 碳与硅含量一般分别不大于0.25%与0.07%                   |
|             | 表面质量   | 一般                                                          | 良好                                | 良好                                        |
|             | 偏析与纯洁度 | 较纯洁, 内外部偏析较轻                                                | 介于镇静钢与沸腾钢之间                       | 外壳纯净, 内部杂质及夹杂物较多; 钢锭上、中、下偏析比较严重           |
|             | 钢锭成材率  | 钢锭头部有巨大缩孔, 锻、轧成材后, 切头量较多, 成材率较低; 对质量要求严格的大锻件, 钢锭成材率有时尚不到50% | 介于镇静钢与沸腾钢之间                       | 无缩孔, 因而成材率较高, 一般大于80%                     |
| 钢 的 机 械 性 能 | 抗拉性能   | 在其他情况相同的条件下, 三类钢的强度与延伸率等均大致相同                               |                                   |                                           |
|             | 冲击韧性   | 良好                                                          | 次于镇静钢                             | 较差, 脆性转折温度较高, 时效现象严重                      |
| 钢 的 工 艺 性 能 | 冷冲压性能  | 良好                                                          | 尚好                                | 只宜作简单的冲压件                                 |
|             | 焊接性能   | 随钢的化学成分不同而变化。碳含量相同时, 比沸腾钢好                                  | 可焊接                               | 由于化学成分偏析, 焊接性不很好, 并易产生时效开裂, 不宜用于制造重要的焊接构件 |

按照技术标准规定, 普通钢按沸腾钢、镇静钢和半镇静钢生产和供应, 合金钢除个别钢种外, 一般都是镇静钢。

1.2 钢的浇铸

铸锭分模铸和连续铸锭两种。铸锭操作与钢的质量有密切关系。

1.2.1 模 铸

模铸是将钢水注入钢锭模内, 待其凝固脱模后再送去压力加工。钢锭模用铸铁制造, 均有锥度以便于脱模。用于浇注沸腾钢和半镇静钢的是下大上小, 用于浇注镇静钢的则是上大下小, 并带有保温帽。钢锭模内壁要求平整、清洁、无锈、无裂缝