



高职高专规划教材  
机械工业出版社精品教材

# 金属材料 及热处理

第2版

JINSHU CAILIAO JI RECHULI

王英杰 金升 主编



配电子教案  
教师免费下载

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高职高专规划教材  
机械工业出版社精品教材

# 金属材料及热处理

第2版

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 王英杰 | 金 升 |
| 副主编 | 张芙丽 |     |
| 参 编 | 张 颖 | 杜 力 |
|     | 王雪婷 | 王美玉 |
| 主 审 | 郭晓平 |     |



机械工业出版社

全书共 14 章, 主要阐述了金属材料与机械制造过程概述、金属的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金、非合金钢、钢的热处理、低合金钢和合金钢、铸铁、非铁金属及其合金、粉末冶金、非金属材料、金属腐蚀及防护方法、新材料简介、材料选择及分析等有关内容。

本书具有以下特点: 第一, 注重在理论知识、素质、能力、技能等方面对学生全面的培养; 第二, 注重吸取现有相关教材的优点, 充实新知识、新工艺、新技术等内容, 简化过多的理论介绍, 并采用最新标准; 第三, 突出职业技术教育特色, 做到图解直观形象, 尽量联系现场实际; 第四, 通过教学活动培养学生的工程意识、经济意识、管理意识和环保意识; 第五, 语言文字叙述精练, 通俗易懂, 总结归纳提纲挈领; 第六, 每章配备了各类复习思考题、交流与研讨题、课外调研活动等, 引导学生积极思维, 造就师生相互交流与研讨的气氛, 培养学生观察、探索、分析以及应用理论知识的能力; 第七, 书后配备了 8 项实验指导, 加强对学生实验技能和综合应用能力的培养。

本书主要面向高等职业技术教育院校的学生。此外, 还可作为中等职业教育和职工培训用教材。

本书配有电子教案、复习与思考题答案、模拟试卷及其答案。凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话: 010—88379375。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料及热处理/王英杰, 金升主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2012. 5

高职高专规划教材 机械工业出版社精品教材  
ISBN 978-7-111-37491-6

I. ①金… II. ①王… ②金… III. ①金属材料—高等职业教育—教材  
②热处理—高等职业教育—教材 IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 025457 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于奇慧 责任编辑: 于奇慧

版式设计: 刘 岚 责任校对: 肖 琳

封面设计: 路恩中 责任印制: 乔 宇

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2012 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.5 印张 · 381 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-37491-6

定价: 29.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

## 第2版前言

本书是根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》等文件，以及高职高专教育人才培养目标的要求而编写的，它是工科高等职业技术教育的通用教材。

为了贯彻落实教育部要求课程教材改革要面向21世纪，适应素质教育、技能培养、创新教育和创业教育的需要，建立具有中国特色的现代化高等职业教育课程体系的精神，针对目前高等职业技术教育缺少符合“金属材料及热处理”课程教学新要求的教材，编者认真查阅了大量的参考资料，进行了多次专题交流与研讨，并在积极汲取各种现有教材精华的基础上，对教材进行了科学合理的编写。

知识经济时代迫切需要综合素质高、实践能力强和创新能力突出的职业技术人才，这就需要我们采用科学合理的教学模式，提高学生的综合素质和职业技能。能力教育与素质教育实际上是同一个问题的两个不同侧面和不同表述。素质是能力的基础，能力则是素质的外在表现，素质诉诸实践就表现为能力；离开素质，能力就成了无本之木，离开能力，素质也无法表现、观察、确证和把握。

突出能力教育必须以人的素质与能力为基础和核心，强调重视学习方法和掌握知识，学会运用知识进行创造性思考和实践，学会把知识有效地转化为素质和能力。高等职业教育不仅要加强基础知识的学习，而且还要使学生具有更大的柔性（或可持续发展能力）。“柔性”就是给予每个在校学生更大的发展空间和深层的受教育机会和能力，以适应未来职业生涯中的工作岗位需求和岗位变换。

本书的教学目标主要有以下几点。

1) 比较系统地介绍金属材料和非金属材料的生产和加工过程，通过学习，强化学生的工程意识、质量意识、效益意识和环境保护意识，培养和造就素质高、知识面宽的高等应用型人才。

2) 使学生获得扎实的基础知识和基本经验，以适应未来的职业生涯需要。

3) 强化实践教学环节，提高学生的动手能力和实践技能。

4) 培养学生的综合应用能力，引导学生学会应用所学的知识解决一些实际问题，使学生初步具有一定的解决实际问题的感性认识和经验，做到触类旁通和融会贯通。

5) 造就研究型学习环境，培养学生团结合作、相互交流、相互学习和勇于探讨问题的学风。

6) 鼓励开放式教学方式，引导学生深入社会，了解现代企业的生产状况，引导学生善于发现实际问题，探索解决问题的途径，培养不断创新和积极进取的探索精神。

7) 适应信息社会发展的需要，培养学生的信息素养，引导学生善于利用现代信息技术，拓宽知识面，了解更多的相关知识。

8) 适应终身学习型社会的发展需要，培养学生掌握正确的学习方法。

本书在内容编写方面尽量做到布局合理、丰富、新颖；在文字介绍方面尽量做到精练、准确、通俗易懂和插图形象生动；在内容组织方面尽量注意逻辑性、系统性和层次性，突出

实践性和适应性,注重理论与实际相结合;在时代性方面尽量反映装备制造方面的新技术、新材料、新工艺和新设备,使教师和学生的认识在一定层次上能跟上现代科技的新发展与高等职业教育的新要求。

书中每章设有提纲挈领的小结,指导学生掌握学习重点和学习方法;每章还配备了较全面的各种类型的复习题,供学生自学时自我检查是否掌握和理解了所学的基础知识;书后附有8个与教学内容相关的实验项目指导,可最大限度地满足不同的实验教学需要。另外,本书还配套有电子教案、复习与思考题答案、模拟试卷及其答案。

本书除供高等职业技术教育院校使用外,还可作为工科中等职业教育、成人教育和工程技术类中高级技术工人的培训教材。

本书建议课时(总课时54学时)分配见下表。

| 章      | 建议课时         | 章   | 建议课时 | 章    | 建议课时   |
|--------|--------------|-----|------|------|--------|
| 绪论、第一章 | 2            | 第六章 | 6    | 第十一章 | 4      |
| 第二章    | 4            | 第七章 | 4    | 第十二章 | 2      |
| 第三章    | 4            | 第八章 | 2    | 第十三章 | 2      |
| 第四章    | 4            | 第九章 | 4    | 第十四章 | 2      |
| 第五章    | 2            | 第十章 | 2    | 实验部分 | 10(最长) |
| 小计     | 16           |     | 18   |      | 20     |
| 总计     | 54(包括实验10学时) |     |      |      |        |

本书主编为王英杰、金升;副主编为张芙丽。全书由王英杰拟定编写提纲和统稿。

前言、绪论及实验指导由王英杰编写;第一章至第四章由王雪婷编写;第五章和第六章由张芙丽编写;第七章至第九章由金升编写;第十章和第十一章由张颖编写;第十二章和第十三章由杜力编写;第十四章由王美玉编写。

本书由高级工程师郭晓平审稿;最后由《金属材料及热处理》高等职业技术教育教材编写组审定通过。

由于编写时间及编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。同时,本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

《金属材料及热处理》教材编写组



# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第2版前言                     |     |
| 绪论                        | 1   |
| 第一章 金属材料与机械制造过程           |     |
| 概述                        | 4   |
| 第一节 金属材料分类                | 4   |
| 第二节 钢铁材料生产过程概述            | 5   |
| 第三节 机械制造过程概述              | 9   |
| 小结                        | 10  |
| 复习与思考                     | 10  |
| 第二章 金属的性能                 | 12  |
| 第一节 金属力学性能                | 12  |
| 第二节 金属的物理性能、<br>化学性能和工艺性能 | 23  |
| 小结                        | 25  |
| 复习与思考                     | 26  |
| 第三章 金属的晶体结构与结晶            | 28  |
| 第一节 金属晶体结构                | 28  |
| 第二节 纯金属的结晶                | 31  |
| 第三节 金属的同素异构转变             | 34  |
| 第四节 合金的晶体结构               | 34  |
| 第五节 合金的结晶                 | 36  |
| 第六节 金属铸锭的组织特征             | 37  |
| 第七节 金属的塑性变形与再结晶           | 39  |
| 第八节 金属材料的焊接性<br>和焊接接头组织   | 44  |
| 小结                        | 45  |
| 复习与思考                     | 46  |
| 第四章 铁碳合金                  | 48  |
| 第一节 铁碳合金的基本组织             | 48  |
| 第二节 铁碳合金相图                | 50  |
| 小结                        | 54  |
| 复习与思考                     | 54  |
| 第五章 非合金钢                  | 56  |
| 第一节 杂质元素对钢性能的影响           | 56  |
| 第二节 非合金钢的分类               | 57  |
| 第三节 非合金钢<br>的牌号及用途        | 59  |
| 小结                        | 64  |
| 复习与思考                     | 65  |
| 第六章 钢的热处理                 | 67  |
| 第一节 钢在加热时的组织转变            | 68  |
| 第二节 钢在冷却时的组织转变            | 70  |
| 第三节 退火与正火                 | 73  |
| 第四节 淬火                    | 76  |
| 第五节 回火                    | 80  |
| 第六节 金属的时效                 | 82  |
| 第七节 表面热处理与化学热处理           | 83  |
| 第八节 热处理新技术简介              | 87  |
| 第九节 热处理工艺应用               | 89  |
| 第十节 热处理工艺实训               | 92  |
| 小结                        | 95  |
| 复习与思考                     | 95  |
| 第七章 低合金钢和合金钢              | 99  |
| 第一节 合金元素在钢中的作用            | 99  |
| 第二节 低合金钢和合金钢<br>的分类与牌号    | 101 |
| 第三节 低合金钢                  | 104 |
| 第四节 合金钢                   | 106 |
| 小结                        | 116 |
| 复习与思考                     | 116 |

|                             |     |                           |     |
|-----------------------------|-----|---------------------------|-----|
| <b>第八章 铸铁</b> .....         | 119 | 第一节 新型高温材料 .....          | 184 |
| 第一节 铸铁概述 .....              | 119 | 第二节 形状记忆材料 .....          | 186 |
| 第二节 常用铸铁 .....              | 120 | 第三节 非晶态合金 .....           | 190 |
| 第三节 合金铸铁 .....              | 127 | 第四节 超导材料 .....            | 191 |
| 小结 .....                    | 129 | 第五节 纳米材料 .....            | 192 |
| 复习与思考 .....                 | 129 | 第六节 功能材料 .....            | 194 |
| <b>第九章 非铁金属及其合金</b> .....   | 131 | 小结 .....                  | 197 |
| 第一节 铝及铝合金 .....             | 131 | 复习与思考 .....               | 197 |
| 第二节 铜及铜合金 .....             | 135 | <b>第十四章 材料选择及分析</b> ..... | 199 |
| 第三节 钛及钛合金 .....             | 141 | 第一节 金属材料的选用               |     |
| 第四节 滑动轴承合金 .....            | 142 | 原则与选用程序 .....             | 199 |
| 小结 .....                    | 145 | 第二节 材料的合理使用 .....         | 202 |
| 复习与思考 .....                 | 145 | 第三节 典型零件选材实例 .....        | 203 |
| <b>第十章 粉末冶金</b> .....       | 148 | 小结 .....                  | 205 |
| 第一节 粉末冶金概述 .....            | 148 | 复习与思考 .....               | 206 |
| 第二节 硬质合金 .....              | 150 | <b>实验指导</b> .....         | 207 |
| 小结 .....                    | 153 | 说明 .....                  | 207 |
| 复习与思考 .....                 | 153 | 实验一 拉伸试验 .....            | 208 |
| <b>第十一章 非金属材料</b> .....     | 154 | 实验二 硬度试验 .....            | 212 |
| 第一节 高分子材料 .....             | 154 | 实验三 冲击试验 .....            | 216 |
| 第二节 陶瓷材料 .....              | 167 | 实验四 金相试样的制备及显微组织          |     |
| 第三节 复合材料 .....              | 171 | 观察实验 .....                | 218 |
| 小结 .....                    | 174 | 实验五 铁碳合金显微组织观察及           |     |
| 复习与思考 .....                 | 175 | 分析实验 .....                | 222 |
| <b>第十二章 金属腐蚀及防护方法</b> ..... | 177 | 实验六 钢的热处理及其硬度             |     |
| 第一节 金属的腐蚀 .....             | 177 | 测定实验 .....                | 226 |
| 第二节 防止金属腐蚀的方法 .....         | 180 | 实验七 钢铁的火花鉴别实验 .....       | 230 |
| 小结 .....                    | 183 | 实验八 铸铁及非铁金属的显微组织          |     |
| 复习与思考 .....                 | 183 | 观察实验 .....                | 235 |
| <b>第十三章 新材料简介</b> .....     | 184 | <b>参考文献</b> .....         | 240 |

## 绪 论

材料是人类社会发展的重要物质文明基础。人类利用材料制作生产和生活用的工具、设备及设施，不断改善了自身的生存环境与空间，创造了丰富的物质文明和精神文明，因此，材料同人类社会的发展密切相关。同时，历史学家为了科学地划分人类在各个社会发展阶段的文明程度，就以材料的生产和使用作为衡量人类文明进步的尺度。以材料的使用为标志，人类社会已经历了石器时代（公元前 10 万年）、陶器时代（公元前 8000 年）、青铜器时代（公元前 3000 年）、铁器时代（公元前 1000 年）、水泥时代（公元元年）、钢时代（公元 1800 年）、硅时代（公元 1950 年）、新材料时代（公元 1990 年）等，可以看出，人类使用材料经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程。目前，人类已进入金属（如钛金属）、高分子、陶瓷及复合材料共同发展的时代。

在材料的使用及加工过程中，金属材料的生产和应用是人类社会发展的重要里程碑，象征着人类在征服自然、发展社会生产力方面迈出了具有深远历史意义的一步。它促进了整个社会生产力的快速发展。尤其是人类进入铁器时代后，随着大规模钢铁工艺的出现，金属材料在人类生活中占据了重要地位，人类社会的经济活动和科学技术水平发生了显著变化。

在近代，材料专家把金属材料比做现代工业的骨架，并且随着金属材料大规模生产及其使用量的急剧上升，它极大地促进了人类社会经济和科学技术的飞速发展。今天，如果没有耐高温、高强度、高性能的钛合金等金属材料，就不可能有现代宇航工业（图 0-1）的发展。

随着金属材料的广泛使用，地球上现有的金属矿产资源将越来越少。据估计，铁、铝、铜、锌、银等几种主要金属的储量，只能再开采 100 ~ 300 年。主要解决办法：一是向地壳的深部要金属；二是向海洋要金属；三是节约金属材料，寻找其代用品。目前，世界各国都在积极采取措施，不断改进现有金属材料的加工工艺，提高其性能，充分发挥其潜力，从而达到节约金属材料的目的，如轻体汽车的设计，就是利用高强度钢材，达到节约金属材料、减轻汽车自重和省油的目的。

到 20 世纪中叶，随着人类社会科学技术的发展、社会环保意识的加强，以及清洁生产需要，涌现出了许多新型的非金属材料。非金属材料的使用，不仅满足了机械工程中的特殊需求，而且还大大简化了机械制造的工艺过程，降低了机械制造成本，同时也提高了机械产品的使用性能。其中比较突出的非金属材料有塑料、胶粘剂、橡胶、陶瓷、复合材料、纳米材料等。目前它们所具有的特殊性能和功能正不断地得到广大工程技术人员的认可，而且其应用范围也在不断地扩大，正在逐步地改变着金属材料占绝对主导地位的格局。

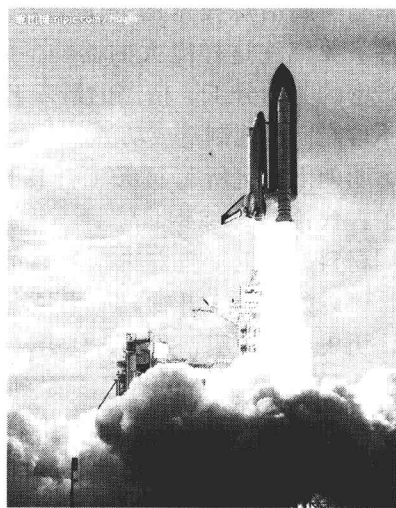


图 0-1 航天飞机



目前,机械零件的加工技术也出现了日新月异的发展。例如,激光技术与计算机技术在机械零件加工过程中的应用,使得机械零件加工设备不断创新,零件的加工质量和效率不断提高,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和生产管理信息系统(MIS)的综合应用,突破了传统的机械零件加工方法,产生了巨大的变革。因此,作为一名工程技术人员或管理人员,了解材料的性能、应用、加工工艺过程以及与之相关的先进的加工技术是非常重要的。掌握这方面的知识不仅可以使机械工程设计更合理、更具先进性,而且还会提高生产机械零件时的质量意识、经济意识、环保意识、创新意识,做到机械生产过程的高质、高效、清洁和安全,并合理地降低生产成本。

回顾金属材料的发展历史,我国是世界上使用金属材料最早的国家之一。我国使用铜的历史约有4000多年,大量出土的青铜器表明在商代(公元前1600~1046年)就有了高度发达的青铜加工技术。例如,河南安阳出土的司母戊大方鼎(图0-2),现称后母戊鼎,体积庞大,花纹精巧,造型精美,重达875kg,属商殷祭器。要制造这么庞大的精美青铜器,需要经过雕塑、制造模样与铸型、冶炼等工序,可以说司母戊大方鼎是雕塑艺术与金属冶炼技术的完美结合。同时,在当时条件下要浇注这样庞大的器物,如果没有大规模的严密的劳动分工、精湛的雕塑艺术和铸造技术,是不可能完美地制造成功的。



图0-2 司母戊大方鼎

明朝宋应星所著《天工开物》一书中详细记载了古代冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属材料的加工工艺方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代制造工艺几乎一致,可以说《天工开物》一书是世界上有关金属加工工艺方法最早的科学著作之一。

历史充分说明,我国古代劳动人民在金属材料及加工工艺方面取得了辉煌的成就,为人类文明作出了巨大的贡献。只是到了近代,由于封建制度的日益腐败和外国的侵略,才严重阻碍和束缚了金属材料及加工技术的发展。

新中国成立后,我国在金属材料、非金属材料及其加工工艺理论研究方面有了很大的提高。2010年我国钢铁产量突破了6亿吨,成为国际钢铁市场上举足轻重的“第一力量”,有力地促进了我国机械制造、矿山冶金、交通运输、石油、电子仪表、宇宙航行等行业的发展。同时,原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、载人火箭、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与试验成功,都标志着我国在金属材料及加工工艺方面达到了新的水平,相信在不远的将来我国在机械制造方面定能进入世界先进行列。

本书比较系统地介绍了常用金属材料与非金属材料的种类、性能和应用等方面的基础知识,是融汇多种专业基础知识为一体的专业技术基础课,是培养从事机械制造行业应用型、管理型、操作型与复合型人才的一必修课程,同时对于培养学生的综合工程素质、技术应用能力、经济意识、环保意识和创新能力也是非常有益的。

本书具有内容广、实践性和综合性突出的特点。在内容编写方面注重体现通俗易懂；在教学方式上注重对学生的积极性进行启发和引导，注重培养其探索精神和学习归纳能力。在学习本课程时，一定要多联系在金属材料和非金属材料方面的感性知识和生活经验，要多讨论、多交流、多分析和多研究，特别是在实习中要多观察，勤于实践，做到理论联系实际，这样才能更好地掌握基础知识，做到融会贯通，全面发展。

学习本课程的基本要求有以下几点。

- 1) 了解金属材料的晶体结构、化学成分、组织及性能之间的密切关系。
- 2) 了解金属材料和非金属材料的分类、牌号、性能和用途之间的相互关系，熟悉常用金属材料的选用原则，做到灵活应用。
- 3) 了解常用金属材料的热处理工艺原理、特点及其应用，熟悉典型零件的热处理方法。
- 4) 了解金属材料的基本防护原理和方法。
- 5) 了解与本课程相关的新技术、新工艺、新设备、新材料的发展概况。
- 6) 了解各种加工工艺方法对零件结构工艺性的一般要求，丰富实践经验，做到灵活应用。
- 7) 善于利用图书馆和互联网提供的信息资源，拓展知识面。

# 第一章 金属材料与机械制造过程概述

金属材料是现代工农业生产中使用最广的机械工程材料。对于从事机械制造、工程建设及国防建设等方面的人员来说，了解金属材料的分类、性能、加工方法及应用范围等知识具有重要意义。

## 第一节 金属材料分类

金属是指在常温常压下，在游离状态下呈不透明的固体状态，具有良好的导电性和导热性，有一定的强度和塑性，并具有光泽的物质，如金、银、铜、铝、铁等。金属材料是由金属元素或以金属元素为主，其他金属或非金属元素为辅构成的，并具有金属特性的工程材料。金属材料包括纯金属、合金、金属化合物和特种金属材料等。

纯金属的强度与硬度一般都较低，塑性与韧性较高，在工业生产中有一定的用途，但由于纯金属的冶炼技术复杂、成本较高，因此，纯金属在使用上受到较大的限制。目前在工农业生产、建筑、国防建设中广泛使用的是合金状态的金属材料。

合金是指由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的金属材料。例如，普通黄铜是由铜和锌两种金属元素组成的合金，普通白铜是由铜和镍两种金属元素组成的合金，碳素钢是由铁和碳组成的合金，合金钢是由铁、碳和合金元素组成的合金等。与组成合金的纯金属相比，合金除具有更好的力学性能外，还可以通过调整组成元素之间的比例，获得一系列性能各不相同的合金，从而满足工农业生产、建筑及国防建设不同的使用性能要求。

金属化合物是指合金中各组元之间发生相互作用而形成的具有金属特性的一种新相。例如，铁碳合金中的渗碳体  $\text{Fe}_3\text{C}$  就是铁和碳组成的金属化合物。金属化合物具有熔点高、硬而脆的特性。合金中出现金属化合物时，通常能显著地提高合金的强度、硬度和耐磨性，但塑性和韧性也会明显地降低。

特种金属材料包括不同用途的结构金属材料和功能金属材料。其中有通过快速凝固工艺获得的非晶态金属材料，以及准晶、微晶、纳米晶金属材料等；还有隐身、贮氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金，以及金属基复合材料等。

金属材料，尤其是钢铁材料，在国民经济中具有重要的作用，这主要是由于金属材料具有比其他材料更优越的性能，如物理性能、化学性能、力学性能及工艺性能等，能够满足生产和科学技术发展的需要。

金属材料可分为钢铁材料（或称黑色金属）和非铁金属（或称有色金属）两大类，如图 1-1 所示。

### 1. 钢铁材料

以铁或以铁为主而形成的金属材料，称为钢铁材料，如各种钢材和铸铁。

### 2. 非铁金属

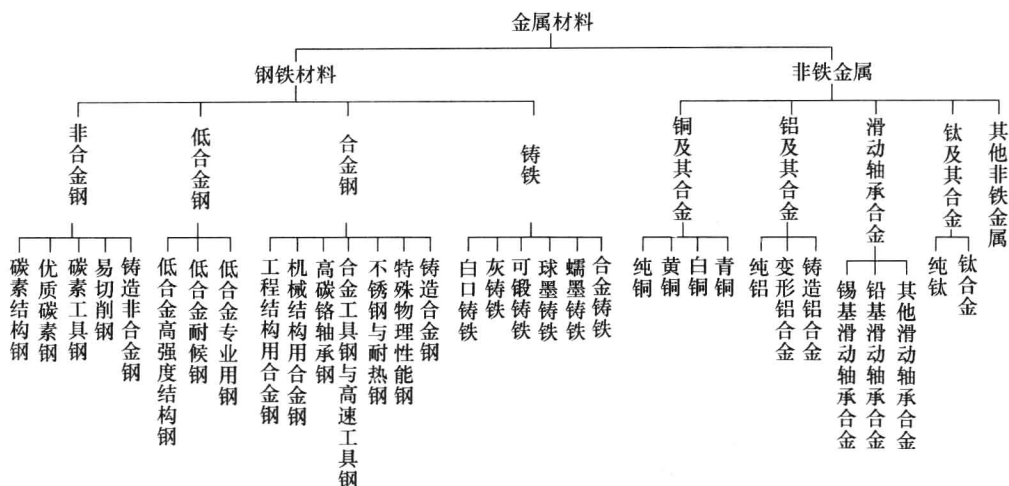


图 1-1 金属材料分类

除钢铁材料以外的其他金属材料，统称为非铁金属，如金、银、铜、铝、镁、锌、钛、锡、铅、铬、钼、钨、镍等。

除此之外，在国民经济建设中，还出现了许多新型的具有特殊性能的金属材料，如粉末冶金材料、非晶态金属材料、纳米金属材料、单晶合金、超导合金以及新型的金属功能材料（永磁合金、高温合金、形状记忆合金、超细金属隐身材料、超塑性金属材料）等。

## 第二节 钢铁材料生产过程概述

钢铁材料是铁和碳的合金。钢铁材料按含碳的质量分数  $w_c$  进行分类，可分为工业纯铁 ( $w_c < 0.0218\%$ )、钢 ( $w_c = 0.0218\% \sim 2.11\%$ ) 和白口铸铁或生铁 ( $w_c > 2.11\%$ )。

生铁由铁矿石经高炉冶炼获得，它是炼钢和铸造生产的主要原材料。

钢材生产以炼钢生铁为主要原料，首先将炼钢生铁装入高温的炼钢炉里，或将炼钢生铁液注入炼钢炉中，通过氧化作用降低生铁中碳和杂质的质量分数，获得需要的钢液，然后将钢液浇注成钢锭或连续坯，再经过热轧或冷轧，制成各种类型的型钢或型材。图 1-2 所示为钢铁材料生产过程示意图。

### 一、炼铁

铁的化学性质活泼，自然界中的铁绝大多数是以铁的化合物形式存在的。炼铁用的原料主要是铁矿石（铁的氧化物）。含铁比较多并且具有冶炼价值的矿物，如赤铁矿、磁铁矿、菱铁矿、褐铁矿等称为铁矿石。铁矿石中除了含有铁的氧化物以外，还含有硅、锰、硫、磷等元素的氧化物杂质，这些杂质称为脉石。从铁的氧化物中提炼铁的过程称为还原过程。炼铁的实质就是从铁矿石中提取铁及其有用元素并形成生铁的过程。现代钢铁工业生产铁的主要方法是高炉炼铁。高炉炼铁的炉料主要是铁矿石 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、燃料（焦炭）和熔剂（石灰石）。

焦炭作为炼铁的燃料，一方面为炼铁提供热量，另一方面焦炭在不完全燃烧时所产生的 CO，又作为使氧化铁和其他金属元素还原的还原剂。熔剂的作用是使铁矿石中的脉石和焦炭燃烧后的灰分转变成密度小、熔点低和流动性好的炉渣（漂浮在铁液表面），并使之与铁

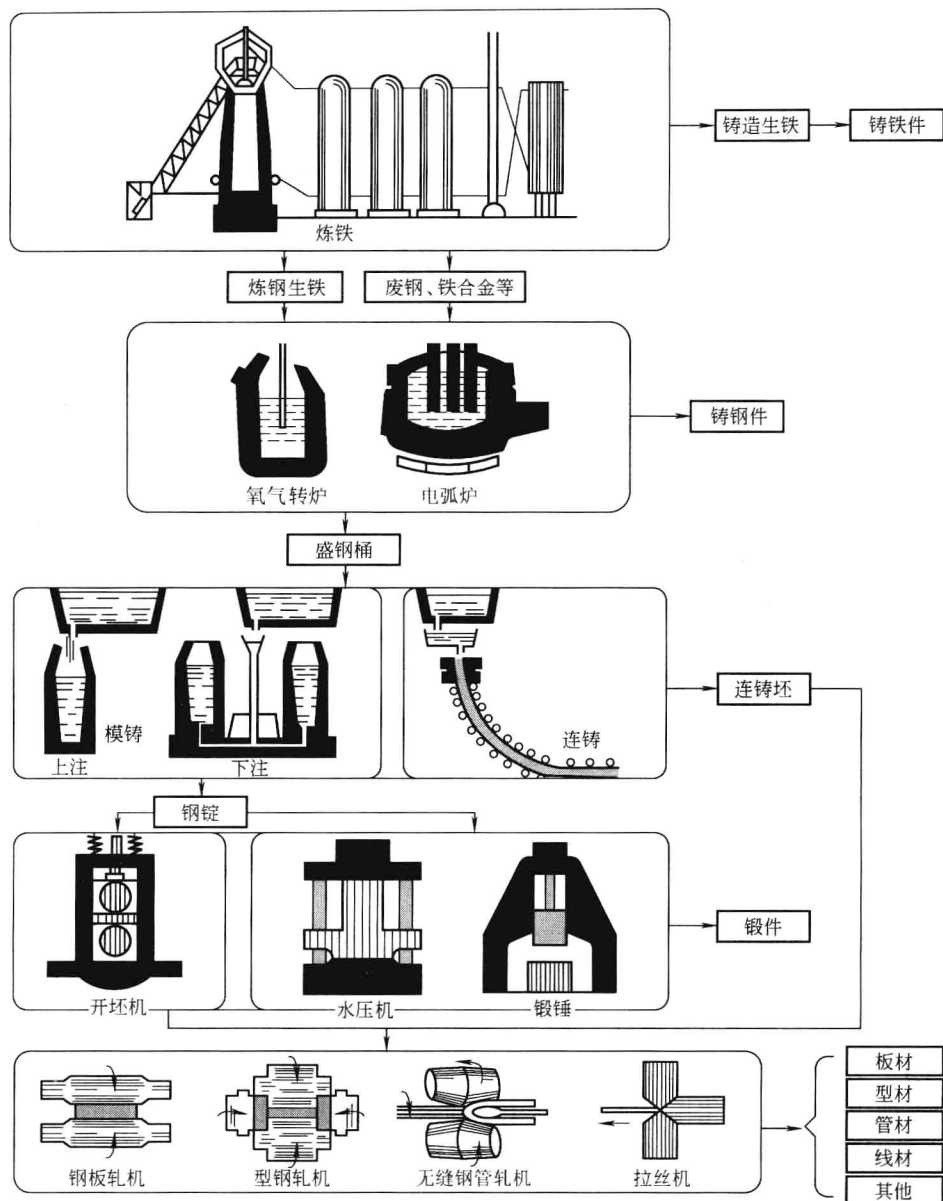


图 1-2 钢铁材料生产过程示意图

液分离。常用的熔剂是石灰石 ( $\text{CaCO}_3$ )。

炼铁时需要将炼铁原料分批分层装入高炉中，在高温和压力的作用下，经过一系列的化学反应，将铁矿石还原成铁。高炉冶炼出的铁不是纯铁，其中含有碳、硅、锰、硫、磷等杂质元素，称为生铁。生铁是高炉冶炼的主要产品。根据用户的不同需要，生铁可分为铸造生铁和炼钢生铁两类。

铸造生铁的断口呈暗灰色，硅的质量分数较高，用于生产复杂形状的铸铁件。

炼钢生铁的断口呈亮白色，硅的质量分数较低 ( $w_{\text{Si}} < 1.5\%$ )，用来在炼钢炉中炼钢。

高炉炼铁产生的副产品主要是煤气和炉渣。高炉排出的炉气中含有大量的  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$  和



H<sub>2</sub> 等可燃性气体，具有较高的经济价值，可以回收利用。高炉炉渣的主要成分是 CaO 和 SiO<sub>2</sub>，可以回收利用，用于制造水泥、渣棉和渣砖等建筑材料。

## 二、炼钢

炼钢是整个钢铁工业生产过程中最重要的环节。炼钢是利用不同来源的氧（如空气、氧气）来氧化炉料（主要是生铁）所含杂质的提纯过程。炼钢的主要工艺过程包括氧化去除硅、磷、碳，脱硫、脱氧和合金化等。炼钢以生铁（铁液或生铁锭）和废钢为主要原料，此外，还需要加入熔剂（石灰石、氟石）、氧化剂（O<sub>2</sub>、铁矿石）和脱氧剂（铝、硅铁、锰铁）等。炼钢的主要任务是根据所炼钢种的要求，把生铁熔化成液体，或直接将高炉铁液注入到高温的炼钢炉中，利用氧化作用将碳及其他杂质元素减少到规定的化学成分范围之内，达到最终钢材所要求的金属成分组成，即获得需要的钢材。所以，炼钢过程基本上是一个氧化过程。氧化过程中产生的炉渣很容易与钢液分离，产生的气体可以逸出，留下的金属熔体就是合格的钢液。

### 1. 炼钢方法

现代炼钢方法主要有氧气转炉炼钢法和电弧炉炼钢法。氧气转炉炼钢法是以熔融铁液为原料，用纯氧代替空气，由炉顶向转炉内吹入高压氧气，能有效地除去磷、硫等杂质，使钢的质量显著提高，且成本较低。该炼钢法常用来炼制非合金钢和低合金钢。电弧炉炼钢法是利用电弧热效应熔炼金属和其他物料的一种炼钢方法，该炼钢方法最常见的加热设备是三相交直流电弧炉，主要用于熔炼合金钢。两种炼钢方法的比较见表 1-1。

表 1-1 氧气转炉炼钢法和电弧炉炼钢法的比较

| 炼钢方法    | 热源       | 主要原料  | 主要特点                                      | 产品        |
|---------|----------|-------|---|-----------|
| 氧气转炉炼钢法 | 氧化反应的化学热 | 生铁、废钢 | 冶炼速度快，生产率高，成本低。钢的品种较多，质量较好，适合于大量生产        | 非合金钢和低合金钢 |
| 电弧炉炼钢法  | 电能       | 废钢    | 炉料通用性大，炉内气氛可以控制，脱氧良好，能冶炼难熔合金钢。钢的质量优良，品种多样 | 合金钢       |

### 2. 钢的脱氧

炼出的钢液，由于在炼钢（氧化）过程中吸收了过量的氧，钢液中的过剩氧气与铁生成氧化物，对钢的力学性能会产生不良的影响，因此，在炼钢的最后阶段，必须在浇注前对钢液进行脱氧处理。按钢液脱氧程度的不同，钢可分为特殊镇静钢（TZ）、镇静钢（Z）、半镇静钢（b）和沸腾钢（F）四种。

镇静钢是指脱氧完全的钢。钢液冶炼后期用锰铁、硅铁和铝进行充分脱氧，钢液能在钢锭模内平静地凝固。镇静钢钢锭化学成分均匀，内部组织致密，质量较高。但由于镇静钢钢锭头部易形成较深的缩孔，轧制时需要切除，因此，钢材浪费较大，如图 1-3a 所示。

沸腾钢是指脱氧不完全的钢。钢液在冶炼后期仅用锰铁进行不充分脱氧。钢液浇入钢锭模后，钢液中的 FeO 和碳相互作用，仍在进行脱氧过程（ $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$ ），生成的 CO 气体引起钢液产生沸腾现象，故称沸腾钢。沸腾钢凝固时大部分气体逸出，少量气体被封闭在钢锭内部，形成许多小气泡，如图 1-3c 所示。沸腾钢钢锭缩孔较小，切头浪费少。但是，其化学成分不均匀，组织不够致密，质量较差。

半镇静钢的脱氧程度和性能状况介于镇静钢与沸腾钢之间，如图 1-3b 所示。

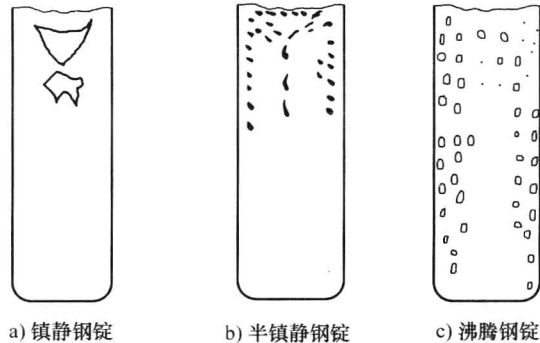


图 1-3 镇静钢锭、半镇静钢锭和沸腾钢锭

特殊镇静钢的脱氧质量优于镇静钢，其内部材质均匀，非金属夹杂物含量少，可满足特殊需要。

### 3. 钢的浇注

钢液经脱氧后，除少数用来浇注成铸钢件外，其余都用钢锭模铸成钢锭，或用连铸机铸成连铸坯。钢锭或连铸坯送到轧钢厂，钢锭用于轧钢或锻造大型锻件的毛坯，连铸坯则轧成各种钢材。连铸法由于生产率高，钢坯质量好，节约能源，生产成本低，应用广泛。

### 4. 炼钢的最终产品

钢锭或连铸坯经过轧制后，最终形成板材、管材、型材、线材及其他类型钢材。

(1) 板材 板材一般分为厚板和薄板。4~60mm 为厚板，常用于造船、锅炉和压力容器等；4mm 以下为薄板，分为冷轧钢板和热轧钢板。薄板轧制后可直接交货或经过酸洗镀锌或镀锡后交货使用。

(2) 管材 管材分为无缝钢管和有缝钢管两种。无缝钢管用于石油、锅炉等行业；有缝钢管由带钢焊接而成，用于制作煤气管道及自来水管等。焊接钢管生产率较高、成本低，但质量和性能与无缝钢管相比稍差些。

(3) 型材 常用的型材有方钢、圆钢、扁钢、角钢、工字钢、槽钢、钢轨等。

(4) 线材 线材是用圆钢或方钢经过冷拔而成的。其中的高碳钢丝用于制作弹簧丝或钢丝绳，低碳钢丝用于捆绑或编织等。

(5) 其他类型钢材 其他类型钢材主要是指要求具有特种形状与尺寸的异形钢材，如车轮箍、齿轮坯等。

**【史海探析】**早在公元前 6 世纪即春秋末期，我国就已出现了人工冶炼的铁器，比欧洲出现生铁早 1900 多年，如 1953 年在河北兴隆地区发掘出的用来铸造农具的铁模子，说明当时铁制农具已大量地应用于农业生产中。同时，我国古代还创造了三种炼钢方法：第一种是战国晚期从矿石中直接炼出的自然钢，用这种钢制作的刀剑在东方各国享有盛誉，后来在东汉时期传入欧洲；第二种是西汉期间经过“百次”冶炼锻打的百炼钢；第三种是南北朝时期的灌钢，即“先炼铁，后炼钢”的两步炼钢技术，这种炼钢技术比其他国家早 1600 多年。直到明朝之前的 2000 多年间，我国在钢铁生产技术方面一直是遥遥领先于世界的。

### 第三节 机械制造过程概述

机械产品的制造过程一般分为设计、制造和使用三个阶段，如图 1-4 所示。

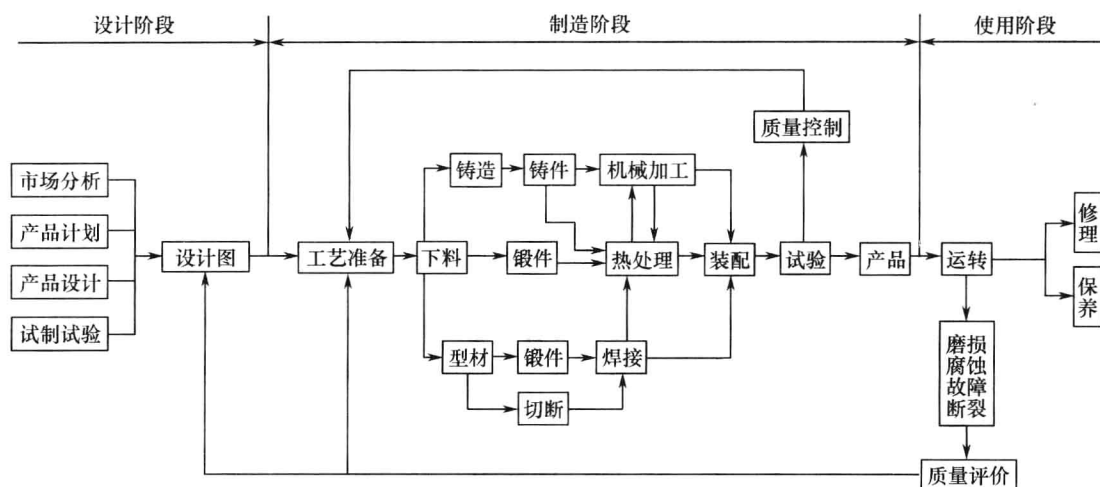


图 1-4 机械产品制造过程的三个阶段

#### 一、设计阶段

机械产品在设计阶段首先要从市场调查、产品性能、生产数量等方面出发，制订出产品的开发计划。设计时，首先进行总体设计，然后再进行部件设计，画出装配图和零件图。然后根据机械零件的使用条件、场合、性能及环境保护要求等，选择合理的材料以及合理的加工方法。

不同的机械产品有不同的性能要求，如汽车必须满足动力性能、控制性能、操纵性、安全性，以及使用起来舒适、燃料消耗率低、噪声小、维护与维修方便等要求。在满足了产品性能和成本要求的前提下，则由工艺部门编制生产加工工艺规程或工艺图，并交付生产。

设计人员在设计零件时，应根据机械产品的使用场合、工作条件等选择零件的制作材料和加工方法。例如，在高温氧化性气氛环境中工作的受力零件，应选择耐热性好的耐热钢；如果零件的形状复杂，则应选择铸钢或铸铁，采用铸造方式进行生产。同时，在设计过程中要特别重视零件的使用性能、使用条件、材质以及加工方法之间的相互协调，以保证零件的加工质量最优，经济效益最大。

#### 二、制造阶段

在制造阶段，生产部门根据机械零件的加工工艺规程与零件图进行制造，然后进行装配。通常不能根据零件设计图直接进行加工，而应根据设计图绘制出制造图，再按制造图进行加工。设计图绘制出的是零件加工完成的最终状态图，而制造图则是表示在制造过程中某一工序完成时工件的状态。两者是有差异的。在加工时，需要根据制造图准备合适的坯料，并进行预定的加工。准备好材料后，根据零件的差异，可采用铸造、锻造、焊接、粉末冶金、机械加工、热处理等不同的加工方法，然后分别在全类车间进行加工。零件加工完成后再装配成部件或整机。机械产品装配完后，需要按设计要求进行各种试验，如空载与负荷试

验、性能与寿命试验以及其他单项试验等。整机质量验收合格后，则可进行涂装、包装和装箱，最后准备投入市场。

### 三、使用阶段

出厂的机械产品一经投入使用，其磨损、腐蚀、故障及断裂等问题就会接踵而至，并暴露出设计和制造过程中存在的质量问题。一个好的机械产品除了应注重设计功能、外观特征和制造工艺外，还应经常注意收集与积累使用过程中零件的失效资料，据此反馈给制造或设计部门，以进一步提高机械产品的功能和质量。这样不仅能使机械产品获得良好的可靠性，而且还能在良好的信誉方面赢得市场。

### 【小结】

本章主要介绍了金属材料的分类、钢铁材料生产过程和机械制造过程等内容，重点是钢铁材料的生产过程、实质及其产品。学习要求：第一，注意观察生活中钢与铁的区别和应用场合；第二，初步认识有关机械制造的基本过程，为以后学习后续章节奠定基本知识基础。另外，如果有机会，可以到有关企业进行参观，如钢铁公司、机械制造厂等，感性地了解金属材料和机械制造方面的生产过程。

## 复习与思考

### 一、名词解释

1. 金属材料
2. 合金
3. 钢铁材料
4. 非铁金属

### 二、填空题

1. 金属材料可分为\_\_\_\_\_材料（或称黑色金属）和\_\_\_\_\_金属（或称有色金属）两大类。
2. 钢铁材料是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的合金。
3. 钢铁材料按含碳的质量分数  $w_c$  进行分类，可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和白口铸铁或生铁。
4. 生铁由铁矿石经高炉\_\_\_\_\_获得，它是\_\_\_\_\_和铸造生产的主要原材料。
5. 高炉生铁一般分为\_\_\_\_\_生铁和\_\_\_\_\_生铁两种。
6. 现代炼钢方法主要有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
7. 按钢液脱氧程度的不同，钢可分为\_\_\_\_\_钢、\_\_\_\_\_钢、\_\_\_\_\_钢和\_\_\_\_\_钢。
8. 机械产品的制造过程一般分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三个阶段。
9. 钢锭经过轧制最终会形成\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及其他类型钢材。

### 三、判断题

1. 钢和生铁都是以铁、碳为主的合金。（    ）
2. 炼铁的实质就是从铁矿石中提取铁及其有用元素并形成生铁的过程。（    ）
3. 钢液用锰铁、硅铁和铝进行充分脱氧后，可获得镇静钢。（    ）
4. 电弧炉炼钢法主要用于冶炼合金钢。（    ）