



# 机械制造基础



Fundamental of Mechanical Manufacturing

主编 温秉权



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 机械制造基础

主编 温秉权

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目（CIP）数据

机械制造基础 / 温秉权主编. —北京：北京理工大学出版社，2017.1  
ISBN 978-7-5682-3223-4

I. ①机… II. ①温… III. ①机械制造-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 243513 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / （010）68914775（总编室）

（010）82562903（教材售后服务热线）

（010）68948351（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 372 千字

版 次 / 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

---

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

## 编 审 人 员

主 编 温秉权

副主编 许爱芬 谢 霞 钱继锋

主 审 贾巨民

# 前言

本书根据军事交通学院最新的人才培养方案和课程改革要求进行编写,主要用作军事装卸工程和车辆运用工程两个专业“机械制造基础”课程的配套教材,也可作为高等院校工程类各专业的通用教材。

遵循理论与实践相结合、理论够用及突出应用的编写原则,本书阐述了工程材料及机械制造的基本理论,着重介绍了常用工程材料的性能特点及应用、常用机械制造工艺方法的特点及应用,并注意体现最新学科发展动态,将新材料、新工艺、新技术等充实到教材中。

参加本书编写的人员有:温秉权、王晓燕、贾继红、任莹、徐柳、谢坤、陈小,编写绪论、第一章、第二章和第六章;许爱芬、刘占东、马超,编写第四章和第八章;谢霞、钱继锋、赵蓉、张健、张晓丽,编写第三章、第五章和第七章。

本书由温秉权任主编,许爱芬、谢霞、钱继锋为副主编。本书由贾巨民主审。

本书在编写过程中参考了大量国内同类教材,并得到了有关专家教授与领导的大力支持和帮助,在此一并致谢。

由于水平所限,书中的缺点和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 绪论                 | 001 |
| 一、材料的发展及其分类        | 001 |
| 二、机械制造工艺及其发展       | 003 |
| 三、我国材料生产及制造工艺发展    | 005 |
| 四、本课程的基本任务、学习目的和方法 | 005 |
| 第一章 工程材料基础知识       | 007 |
| 第一节 金属的力学性能        | 007 |
| 一、静力学性能            | 007 |
| 二、动力学性能            | 012 |
| 三、高温力学性能           | 013 |
| 第二节 金属的结构与结晶       | 014 |
| 一、金属的晶体结构          | 014 |
| 二、金属的结晶            | 016 |
| 三、金属的同素异构转变        | 019 |
| 四、实际金属的晶体缺陷        | 020 |
| 五、合金结构与合金相图        | 021 |
| 复习思考题              | 029 |
| 第二章 常用工程材料         | 031 |
| 第一节 碳素钢            | 031 |
| 一、碳钢的分类            | 031 |
| 二、常存杂质对碳钢性能的影响     | 032 |
| 三、碳钢的编号和用途         | 033 |
| 第二节 合金钢            | 040 |
| 一、合金元素在钢中的作用       | 040 |
| 二、合金钢的分类及牌号        | 042 |
| 三、合金结构钢            | 043 |
| 四、合金工具钢            | 054 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 五、特殊性能钢 .....          | 059 |
| 第三节 铸铁 .....           | 060 |
| 一、铸铁中碳的存在形式 .....      | 061 |
| 二、影响铸铁石墨化的因素 .....     | 061 |
| 三、铸铁的分类 .....          | 062 |
| 四、常用铸铁 .....           | 063 |
| 五、特殊性能铸铁 .....         | 068 |
| 第四节 有色金属及其合金 .....     | 069 |
| 一、铜及铜合金 .....          | 069 |
| 二、铝及铝合金 .....          | 071 |
| 三、钛及钛合金 .....          | 074 |
| 第五节 塑料、橡胶与陶瓷 .....     | 075 |
| 一、塑料 .....             | 075 |
| 二、橡胶 .....             | 077 |
| 三、陶瓷 .....             | 079 |
| 第六节 新材料及其在军事上的应用 ..... | 081 |
| 一、新材料概述 .....          | 081 |
| 二、复合材料 .....           | 082 |
| 三、纳米材料 .....           | 086 |
| 四、隐身材料 .....           | 092 |
| 五、超导材料 .....           | 095 |
| 六、新材料在后勤装备保障中的应用 ..... | 098 |
| 复习思考题 .....            | 099 |
| <br>第三章 钢的热处理 .....    | 100 |
| 第一节 概述 .....           | 100 |
| 第二节 钢的普通热处理 .....      | 101 |
| 一、退火与正火 .....          | 101 |
| 二、淬火与回火 .....          | 103 |
| 第三节 钢的表面热处理 .....      | 106 |
| 一、表面淬火 .....           | 106 |
| 二、化学热处理 .....          | 108 |
| 第四节 热处理新技术 .....       | 110 |
| 一、可控气氛热处理 .....        | 110 |
| 二、真空热处理 .....          | 112 |
| 三、离子轰击热处理 .....        | 112 |
| 四、形变热处理 .....          | 113 |
| 五、表面热处理新技术 .....       | 114 |
| 六、复合热处理 .....          | 115 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 复习思考题                | 116 |
| <b>第四章 机械加工质量</b>    | 117 |
| 第一节 加工精度             | 117 |
| 一、极限与配合国家标准的构成       | 117 |
| 二、零件几何精度的基本知识        | 129 |
| 第二节 表面粗糙度轮廓          | 132 |
| 一、表面粗糙度轮廓的主要术语及定义    | 132 |
| 二、表面粗糙度轮廓标准符号及其含义    | 134 |
| 复习思考题                | 140 |
| <b>第五章 金属材料成形工艺</b>  | 142 |
| 第一节 铸造               | 142 |
| 一、铸造的特点及应用           | 142 |
| 二、铸造工艺方法             | 142 |
| 三、合金的铸造性能            | 147 |
| 四、铸件结构工艺性            | 152 |
| 五、铸造新工艺及应用           | 153 |
| 第二节 锻压               | 154 |
| 一、锻压的特点及应用           | 154 |
| 二、金属的塑性变形            | 155 |
| 三、锻压方法               | 157 |
| 四、锻压新工艺              | 163 |
| 第三节 焊接               | 164 |
| 一、焊接的特点及分类           | 164 |
| 二、焊接过程与焊接质量          | 166 |
| 三、焊接方法               | 170 |
| 四、常用金属材料的焊接          | 174 |
| 五、焊接结构的设计            | 176 |
| 六、焊接技术的新发展           | 179 |
| 复习思考题                | 184 |
| <b>第六章 机械加工工艺</b>    | 186 |
| 第一节 切削加工概论           | 186 |
| 一、切削加工的运动分析及切削要素     | 186 |
| 二、常用机械加工方法           | 188 |
| 三、金属切削过程中的物理现象及其基本规律 | 197 |
| 第二节 机械加工工艺过程         | 200 |
| 一、机械加工工艺过程           | 200 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 二、生产类型及其工艺特点 .....            | 203        |
| 三、工件的安装 .....                 | 205        |
| 第三节 典型表面加工 .....              | 207        |
| 一、外圆表面的加工 .....               | 207        |
| 二、孔的加工 .....                  | 208        |
| 三、平面的加工 .....                 | 210        |
| 复习思考题 .....                   | 211        |
| <b>第七章 零件选材与加工工艺分析 .....</b>  | <b>212</b> |
| 第一节 零件的失效与选材 .....            | 212        |
| 一、零件的失效 .....                 | 212        |
| 二、零件的选材 .....                 | 214        |
| 第二节 零件毛坯的选择 .....             | 218        |
| 一、概述 .....                    | 219        |
| 二、毛坯选择的基本原则 .....             | 220        |
| 三、汽车零件的毛坯选择 .....             | 223        |
| 第三节 零件热处理的技术条件和工序位置 .....     | 225        |
| 一、热处理的工序位置 .....              | 225        |
| 二、零件热处理的技术条件及标注 .....         | 226        |
| 第四节 典型零件材料和毛坯的选择及加工工艺分析 ..... | 227        |
| 一、轴杆类零件 .....                 | 227        |
| 二、盘套类零件 .....                 | 229        |
| 三、箱架类零件 .....                 | 231        |
| 复习思考题 .....                   | 233        |
| <b>第八章 现代制造技术 .....</b>       | <b>234</b> |
| 第一节 高能束加工 .....               | 234        |
| 一、电子束加工 .....                 | 234        |
| 二、离子束加工 .....                 | 235        |
| 三、高压水射流加工 .....               | 236        |
| 四、激光加工 .....                  | 237        |
| 第二节 快速成型 .....                | 239        |
| 一、快速成型制造技术原理 .....            | 239        |
| 二、典型快速成型制造技术工艺方法 .....        | 240        |
| 三、典型快速成型制造技术的应用 .....         | 242        |
| 四、快速成型制造技术的新发展 .....          | 243        |
| 复习思考题 .....                   | 245        |
| <b>参考文献 .....</b>             | <b>246</b> |

# 绪 论

人类文明与社会的发展，归根到底是生产力的发展。材料的不断发现和应用，以及制造技术与工艺的推陈出新，是生产力发展的巨大推动力。机械制造业的技术水平和现代化程度，是生产力发展水平最直接的体现。

机械是由许多零件组成的，要使机械从设计图纸变成实物，需要经过零件的制造、装配，以及零件装配后的试验等过程。“机械制造基础”就是研究机械零件的常用材料和加工方法，即从选择材料、制造毛坯、直到加工出零件的综合性课程。通过对本课程的学习，学生可获得常用工程材料及零件加工工艺的知识，培养工艺分析的初步能力，为专业课程的学习奠定必要的基础。

## 一、材料的发展及其分类

### （一）材料及材料科学的发展

材料是人们用来制造各种有用器件的物质。材料和人类社会的关系极为密切，它是人类赖以生存和生活的物质基础。人类所用材料的创新和进步大大推动了社会生产力的发展，它标志着历史发展和人类文明的进程。人类文明的发展史，实际上就是一部学习利用材料、制造材料、创新材料的历史。大约在 25 000 年前，人类学会了使用第一种工具材料——石器；公元前 8 000 年，人类第一次有意识地创造发明了自然界并没有的新材料——陶器；公元前 2140—公元前 1711 年，人类炼出了第一种金属材料——铜；公元前 770—公元前 475 年，人类发明了生铁冶铸技术；1 800 多年前，我国掌握了两步炼钢法技术——先炼铁再炼钢，并一直沿用至今；今天，随着高纯度、大直径的硅单晶体而发展起来的集成电路的研制成功，出现了先进的计算机和电子设备。正因为如此，历史学家根据制造生产工具的材料，将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。当今，人类在发展高性能金属材料的同时，也在迅速发展和应用高性能的非金属材料，并逐渐跨入人工合成材料的新时代。

然而，长期以来，人们对材料本质的认识是表面的、肤浅的，每种材料的发现、制造和使用过程都要靠工匠匠人的经验，如听声音、看火候或者凭借祖传秘方等。后来，随着经验的积累，出现了讲述制造过程和规律的“材料工艺学”。18 世纪后，由于工业的迅速发展，对材料特别是钢铁的需求急剧增长。为适应这一需要，在化学、物理和材料力学等学科的基础上，产生了一门新的学科——金属学。它明确地提出了金属的外在性能取决于内部结构的理论，并以探讨与研究金属的组织和性能之间的关系为自己的主要任务。1863 年，光学显微镜问世，并第一次被用于观察和研究金属材料的内部组织结构，从而出现了“金相学”。1913 年，人们开始用 X 射线衍射技术研究固体材料的晶体结构、内部原子排列的规律。1932 年发明的电子显微镜以及后来出现的各种谱仪等分析手段，把人们对微观世界的认识带入了更深

的层次。此外,化学、量子力学、固体物理学等一些与材料有关的基础学科的进展也大大推动了材料研究的深化。陶瓷学、高分子科学等相关应用学科的发展,同样为 20 世纪后期跨越多学科的材料科学与工程的形成打下了基础。

材料科学是研究材料化学成分、组织结构和性能之间相互关系及其变化规律的一门科学。它的任务是解决材料的制备问题,合理、有效地利用现有材料及不断研制新材料。其任务的实现实际上是一个工程问题,故在材料科学这个名词出现后不久就提出了材料科学与工程(MSE)的概念。材料科学与工程包括四个基本要素,即合成和加工、成分和结构、性质、使用表现。任何材料都离不开这四个基本要素,这是几千年来人类对材料驾驭过程的总结。材料的合成与加工着重研究获取材料的手段,以工艺技术的进步为标志;材料的成分(材料所含元素的种类和各元素的相对量)与结构(材料的内部构造)反映材料的本质,是认识材料的理论基础;材料的性质(材料在外界因素作用下表现出来的行为)表征了材料固有的性能,如力学性能、物理性能和化学性能等,是选用材料的重要依据;使用表现(材料在使用条件下表现出来的行为)则可以用材料的加工性(工艺性能)和服役条件(使用性能)相结合来考察,它常常是材料科学与工程的最终目标。

1957 年 11 月,苏联人造卫星被送入太空,对当时的美国造成极大震动。美国政府的调查表明,其未能先行发射的主要问题在于其材料科学与工程的研究相对落后于苏联。此后,以美国为代表的西方先进工业国家十分重视材料的研究与开发,并逐步促使了该 MSE 新兴边缘学科的形成。能源、材料、信息作为现代科学技术的三大支柱,在我国也形成了相应的三大支柱产业。能源与信息产业的发展在很大程度上要依赖于材料的发展,所以,全世界工业技术先进的国家都十分重视在材料领域内的研究与开发。美国的关键技术委员会在 1991 年确定的 22 项关键技术中,材料占了 5 项:材料的合成与加工;电子和光电子材料;陶瓷;复合材料;高性能金属和合金。日本为开拓 21 世纪选定的基础技术研究项目共涉及 46 个领域,其中有关新材料的基础研究项目就占 14 项之多。

20 世纪 80 年代以后,世界各国对新材料的开发都非常重视。光电子信息材料、先进复合材料、先进陶瓷材料、新型金属材料、高性能塑料、超导材料等不断涌现,并被迅速投入使用,给社会生产和人们的生活带来了巨大的变化。材料科学与工程的努力目标是按指定性能来进行材料的设计,未来的新材料将建立在“分子设计”基础之上,改变利用化学方法探索和研制新材料的传统做法。届时,新材料的合成,只要通过化学计算,重新组合分子就行了,人类将完全摆脱对天然材料的依赖,材料的研究和生产将发生根本性变革,人类的物质文明将进入一个令人神往的新时代。

## (二) 工程材料及其分类

满足不同工程用途所使用的材料称为工程材料,对本课程而言主要是指固体材料领域中与工程(结构、零件、工具等)有关的材料。现代的工程材料种类繁多。

(1) 机械工程材料按其化学成分分为金属材料、非金属材料(有机、无机)和复合材料三大类。

① 金属材料是指化学元素周期表 B-At 线左侧的全部元素和由这些元素构成的合金材料,其主要特征是具有金属光泽及良好的塑性、导电性、导热性和较高的刚度、正的电阻温度系数。它是工程领域中用量最大的一类材料,依据其成分可分为由铁和以铁为基的合金构成的钢铁材料及由除铁以外的其他金属及其合金构成的非铁(有色)金属材料两大类,其中

钢铁材料因具有优良的力学性能、工艺性能和低成本等综合优势,占据了主导地位,达到金属材料用量的 95%,并且这种趋势仍将延续一段时间。

② 非金属材料中的有机高分子材料是由分子量很大的大分子组成,主要含有碳、氢、氧、氮、氯、氟等元素。其主要特征是质地轻、比强度高、弹性好、耐磨耐蚀、易老化、刚性差、高温性能差。工程上使用的高分子材料包括塑料、合成橡胶和合成纤维等。目前全世界每年生产的高分子材料超过 2 亿吨,其体积是钢铁的 2 倍,其中塑料占了约 75%。高分子材料具备金属材料不具备的某些特性,发展很快,应用日益广泛,已成为工程上不可缺少甚至是不可取代的重要材料。无机非金属材料(陶瓷)主要由氧和硅或其他金属化合物、碳化物、氮化物等组成,主要特征是耐高温、耐蚀、高硬度、高脆性、无塑性。按照习惯,陶瓷一般分为传统陶瓷和特种陶瓷两大类。传统陶瓷主要用作日用、建筑、卫生以及工业上应用的电器绝缘陶瓷(高压电瓷)、化工耐酸陶瓷和过滤陶瓷等。特种陶瓷具有独特的力学、物理、化学、电学、磁学和光学等性能,能满足工程技术的特殊要求,是发展宇航、原子能和电子等高、精、尖科学技术不可缺少的材料,并已成为高温材料和功能材料的主力军。

③ 复合材料是由两种或两种以上不同化学性质或不同组织结构物质,通过人工制成的一种多相固体材料。按增强相的性质和形态,可分为颗粒复合材料、纤维复合材料、层叠复合材料、骨架复合材料及涂层复合材料等。其中最常用的是纤维复合材料,如玻璃纤维复合材料、碳纤维复合材料、硼纤维复合材料、金属纤维复合材料和晶须复合材料等。由于复合材料具有各单纯材料不具备的优点,因此,今后有望得到进一步发展。

当然,上述各种材料之间也存在着交叉关系,如非晶态金属介于金属和非金属之间;复合材料把金属和非金属结合起来。

(2) 工程材料按其用途不同分为结构材料和功能材料两大类。

① 结构材料主要是利用它们的强度、硬度、韧性和弹性等力学性能,用于制造以受力为主的构件,是机械工程、建筑工程、交通运输、能源工程等方面的物质基础。它包括金属材料、非金属材料 and 复合材料。

② 功能材料主要是利用它们所具有的电、光、声、磁、热等功能和物理效应而形成的一类材料。它们在电子、红外、激光、能源、计算机、通信、电子和空间等许多新技术的发展中起着十分重要的作用。

(3) 工程材料按其开发、使用时间的长短及先进性分为传统材料和新型材料两类。

① 传统材料是指那些已经成熟且长期在工程上大量应用的材料,如钢铁、塑料等,其特征是需求量大和生产规模大,但环境污染严重。

② 新型材料是指那些为适应高新技术产业而正在发展且具有优异性能和应用前景的材料,如新型高性能金属材料、特种陶瓷、陶瓷基和金属基复合材料等,其特征是投资强度大、附加值高、更新换代快、风险性大、知识和技术密集程度高,一旦成功,回报率也较高,且不以规模取胜。但传统材料与新型材料并无严格的界限。

## 二、机械制造工艺及其发展

在现代机械制造业中,切削加工是将金属毛坯加工成具有一定尺寸、形状和精度的零件的主要加工方法。切削加工按所选用切削工具的类型可分为两类:一类是利用刀具进行加工,如车削、钻削、镗削和刨削等;另一类是用磨料进行加工,如磨削、珩磨、研磨和超精加工等。目前,绝大多数零件,尤其是精密零件,主要是依靠切削加工来达到所需的加工精度和

表面粗糙度的。因此，切削加工是近代加工技术中最重要的加工方法之一，在机械制造业中占有十分重要的地位。

随着科学技术的发展，各种新材料、新工艺和新技术不断涌现，机械制造工艺正向着高质量、高生产率和低成本方向发展。电火花、电解、超声波、激光、电子束和离子束加工等工艺，已突破传统的依靠机械能、切削力进行切削加工的范畴，可以加工各种难加工材料、复杂的型面和某些具有特殊要求的零件。数控机床的出现，提高了单件小批量零件和形状复杂零件的加工生产率及加工精度。计算方法和计算机技术的迅速发展，大大推进了机械加工工艺的进步，使工艺过程的自动化程度达到了一个新阶段。目前，数控机床的工艺功能已由加工循环控制、加工中心，发展到适应控制。加工循环控制可实现每个加工工序的自动化，但不同工序中刀具的更换及工件的重新装夹，仍须人工来完成。加工中心是一种高度自动化的多工序机床，又称为自动换刀数控机床，它能自动完成刀具的更换、工件转位和定位、主轴转速和进给量的变换等，使得只需在机床上装夹一次工件就可以完成全部加工。因此，它可以显著缩短辅助时间，提高生产率，改善劳动条件。适应控制数控机床是一种具有“随机应变”功能的机床，它能在加工过程中根据切削条件（如切削力、切削功率、切削温度、刀具磨损及表面质量等）的变化，自动调整切削条件，使机床保持在最佳的状态下进行加工，而不受其他一些参数发生非预料性变化的影响，因而有效地提高了加工效率，扩大了加工品种，更好地保证了加工质量，能获得最大的经济效益。

精密成形技术的快速发展，使毛坯的形状、尺寸和表面质量更接近零件要求。近净成形（Near Net Shape Technique）和净成形（Net Shape Technique）技术迅速发展，包括近净铸造成形、精密塑性成形、精密焊接与精确连接、精密热处理和表面改性等专业领域，使机械构件具有精确的外形、高的尺寸精度与形位精度和理想的表面粗糙度。国际机械加工技术学会预测，21 世纪初精密成形与磨削加工相结合，将逐渐取代大部分中、小零件的切削加工，它所成形的公差可相当于磨削精度。

当今，科学技术迅猛发展，微电子、计算机、自动化技术与制造工艺和设备相结合，形成了从单机到系统，从刚性到柔性，从简单到复杂等不同档次的多种自动控制加工技术；成形加工过程的计算机模拟、仿真与并行工程、敏捷化工程及虚拟制造技术相结合，已成为网络化异地设计与制造的重要内容；应用新型传感器、无损检测等自动监控技术及可编程控制器等新型控制装置可以实现系统的自适应控制和自动化控制；工业机器人更是涉及众多新的领域。现代机械制造系统，是以提高企业竞争力为目标，把先进技术与经济效益紧密结合，包含自动化技术、计算机控制与辅助制造技术、设计与工艺技术、材料技术，以及财会金融与工商管理，已非传统意义的机械制造。

近年来，科学家们又提出智能结构系统的概念，它是以生物界的方式感知结构系统的内部状态和外部环境，并及时做出判断和响应。智能结构系统是在结构中集成传感器、控制器及执行器，赋予结构健康自诊断、环境自适应及损伤自愈合等某些智能功能与生命特征，达到增强结构安全、减轻质量、降低能耗和提高性能总目标的一种仿生结构系统。可以预见，随着该系统的产生和应用，全球制造业将发生巨大变化。

尽管各种新技术、新工艺不断出现，新的制造理念不断形成，但铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工等传统工艺至今仍被大量而广泛地应用。因此，不断改进和提高常规工艺，并通过各种途径实现其高效化、精密化、轻量化和绿色化，具有重大的经济意义。

### 三、我国材料生产及制造工艺发展

在材料生产及其成形工艺的历史上,我们的祖先曾取得辉煌的成就,为人类文明做出了重大贡献。我国在原始社会后期即开始制作陶器,在仰韶文化和龙山文化时期制陶技术就已相当成熟。青铜冶炼始于夏代,至商周时期(公元前16世纪—公元前8世纪)冶铸技术已达到相当高的水平,形成了灿烂的青铜文化。公元前7世纪—公元前6世纪的春秋时期,我国已开始大量使用铁器,白口铸铁、麻口铸铁和可锻铸铁相继出现,比欧洲国家早1800多年。在大约3000年前,我国就已采用铸造、锻造、淬火等技术生产工具和各种兵器。大量的历史文物,例如:河南安阳武官村出土的商代后母戊鼎,重875 kg,在大鼎四周有精致的蟠龙花纹;湖北江陵楚墓中发现的埋藏了2000多年的越王勾践的宝剑,至今仍异常锋利,寒光闪闪;陕西临潼秦始皇陵出土的大型彩绘铜车马,由3000多个零、部件组成,综合采用了铸造、焊接、凿削、研搪、抛光及各种连接工艺,结构复杂,制作精美;河南南阳汉代冶金作坊出土的9件铁农具,有8件是黑芯韧性铸铁,其质量与现代同类产品相当;现存于北京大钟寺内明朝永乐年间制造的大钟,重46.5 t,其上遍布经文20余万字,其浑厚悦耳的钟声至今仍伴随着华夏子孙辞旧迎新……体现出中华民族在材料、成形方法及热处理等方面的卓越成就,以及对世界文明和人类进步所做出的显著贡献。春秋时期的《考工记》中关于钟鼎和刀剑不同的铜锡配比的珍贵记载,是世界上出现最早的合金配比规律;明朝(1368—1644)宋应星所著《天工开物》一书,记载了冶铁、铸钟、锻铁、焊接(锡焊和银焊)和淬火等多种金属成形、改性方法及日用品的生产技术和经验,并附有123幅工艺流程图,是世界上有关金属加工工艺最早的科学论著之一。

然而,18世纪以后,我国科学技术的发展与工业发达国家之间产生了较大的差距。

新中国成立以后,特别是近几十年来,我国工业生产迅速发展,取得了举世瞩目的成就。20世纪60年代,我国自行设计生产的12000 t水压机,是制造大型发电机、大型轧钢机、大型化工容器和大型动力轴类锻件的必备设备;我国人造地球卫星、洲际弹道导弹及长征系列运载火箭的研制成功,均与机械制造工艺水平的发展密切相关,我国是世界上少数几个拥有运载火箭和人造卫星发射实力的国家。这些飞行器的壳体均选用铝合金、钛合金或特殊合金材料的薄壳结构,采用胶接(或黏结)和钨极氩弧焊、等离子弧焊、真空电子束焊、真空钎焊和电阻焊等方法焊接而成。我国成功生产了世界上最大的轧钢机机架铸钢件(重410 t)和长江三峡巨型水轮发电机组特大型零、部件;锻造了196 t汽轮机转子;进行了3×10 BW电站锅炉的焊接,并能够建造150000 t的超大型船舶。

### 四、本课程的基本任务、学习目的和方法

“机械制造基础”是一门综合性的技术基础课,旨在使学生建立生产过程的概念;掌握常用金属切削加工基础理论、基本加工工艺方法、零件的结构工艺性及机械加工工艺过程的基础知识;了解新材料及现代先进的制造技术和工艺知识,培养学生的机械工程的基本素质和零件结构工艺性设计的能力。“机械制造基础”在培养高级工程技术人才的全局中,具有增强学生的工程实践能力、对机械技术工作的适应能力和机械结构创新设计能力的作用。

通过本课程的学习,期望学生能达到以下目标。

(1) 建立工程材料和材料成形工艺与现代机械制造的完整概念,培养良好的工程意识。

(2) 掌握金属材料的成分、组织和性能之间的关系, 强化金属材料的基本途径、钢的热处理原理和方法, 以及常用金属材料、非金属材料 and 复合材料的性质、特点、用途和选用原则。

(3) 掌握各种成形方法和常用设备的基本原理、工艺特点和应用场合, 具有合理选择毛坯成形方法的能力。

(4) 掌握零件(毛坯)的结构工艺性, 并具有设计毛坯和零件结构的初步能力。

(5) 了解与本课程有关的新技术、新工艺。

本课程融多种工艺方法于一体, 信息量大, 实践性强, 叙述性内容较多。首先, 在学习中必须重视生产实践感性知识的积累, 这样才能得到预期效果。在教学方式上, 应以课堂教学为主, 同时辅之以电教片、多媒体 CAI、实物与模型、课堂讨论等多种教学手段和形式, 以增强学生的感性认识, 加深其对教学内容的理解。在教学安排上, 一般将本课程教学安排在金工实习之后, 所以要求学生重视金工实习教学。在金工实习过程中, 应注意积累对产品生产和零件加工过程的感性知识, 培养一定的操作技能, 在此基础上再来学习本课程的内容, 才有助于上升到理性认识的高度。其次, 在学习过程中应注意理论联系实际, 必须善于联系实习中遇到的各种实际问题, 深入领会课程的内容, 做到灵活运用和融会贯通, 在扎实地掌握本课程的基本理论与知识的同时, 努力提高分析和解决工程实际问题的能力。最后, 在学习本课程的同时, 还要注意了解本学科与相关学科的最新技术成果及发展, 以便拓宽知识面, 不断地探索、发现新的规律和确立新的规范, 如此才能较好地掌握本课程的内容, 提高课堂教学效果。

# 第一章 工程材料基础知识

## 第一节 金属的力学性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指金属材料在使用过程中表现出来的力学、物理和化学性能。其中，力学性能又称机械性能，是指金属在外力作用下表现出来的性能，表示金属材料抵抗外力的能力。工艺性能是指金属材料在加工制造过程中所表现出来的性能，如铸造性、焊接性和切削加工性等。金属的工艺性能与力学性能密切相关。

汽车的大多数零件是在多种应力作用下工作的，如连杆、锤杆、锻模等主要承受冲击力和循环载荷，选材时需综合考虑多项力学性能；发动机曲轴、齿轮、弹簧及滚动轴承等零件的失效，大多数是由疲劳破坏引起的，因此，主要考虑材料抵抗疲劳的能力；对于承受较大冲击力和要求耐磨性高的汽车、拖拉机变速齿轮，选材时应主要考虑抵抗磨损的能力。军用车辆由于其特殊的服役条件，对某些力学性能要求更高。我国军车为验证新车的技术性能、可靠性、地区和气候适应性及质量水平，各车型都要经过严格的“两高一低”（高温、高原、低温）试验和有关专项试验后方可定型。

评定材料的力学性能指标可采用国家标准规定的试验，根据试验条件不同分为：静力学性能（如强度、塑性、硬度）、动力学性能（如冲击韧性、疲劳强度）和高温力学性能。

### 一、静力学性能

常用的静力学性能主要有强度、塑性和硬度，其中，强度和塑性由静拉伸试验测定，硬度可由压入法、划痕法或弹跳回弹法等试验测定。

#### （一）强度

强度是指在外力作用下材料抵抗变形与断裂的能力，是零件承受载荷后抵抗发生断裂或超过容许限度的残余变形的能力。也就是说，强度是衡量零件本身承载能力（即抵抗失效能力）的重要指标。强度是机械零、部件首先应满足的基本要求。机械零件的强度一般可以分为静强度、疲劳强度（弯曲疲劳和接触疲劳等）、断裂强度、冲击强度、高温和低温强度、在腐蚀条件下的耐腐蚀强度及胶合强度等项目。强度的试验研究是综合性的研究，主要是通过其应力状态来研究零、部件的受力状况以及预测破坏失效的条件和时机。其中，静强度的常用指标有屈服强度、规定塑性延伸强度或规定残余延伸强度和抗拉强度等，可通过光滑试样的静拉伸试验测得。

##### 1. 光滑试样静拉伸试验

光滑试样是为了使金属材料承受单向应力的试样，以便测得的材料指标稳定，具有广泛的可比性。试样材料与尺寸依据我国国家标准 GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验第1部

分：室温试验方法》给定。常用试样的断面为圆形，称为圆形试样，如图 1-1 所示。图中  $d_0$  为圆试样平行长度的原始直径（mm）， $L_0$  为原始标距长度（mm）， $S_0$  为试样平行长度的原始横截面积， $L_u$  为拉断后标距长度（mm）， $S_u$  为试样拉断后的最小横截面积。依据国标 GB/T 228.1—2010，拉伸试样可制成长试样（ $L_0=10d_0$ ）或短试样（ $L_0=5d_0$ ）。为了研究金属材料在拉伸载荷作用下的变形和断裂过程，材料选用退火低碳钢。

拉伸试验在拉伸试验机上进行，通过对试样缓慢施加轴向拉力，测量试样在变形过程中直至断裂的各项力学性能。试验材料的全面性能反映在拉伸曲线上，根据试验材料的特性，拉伸曲线可分为两种类型，其中以退火低碳钢为试样所得的拉伸曲线为典型类型拉伸曲线，如图 1-2 所示。由曲线描述可知金属变形过程分为六个阶段。

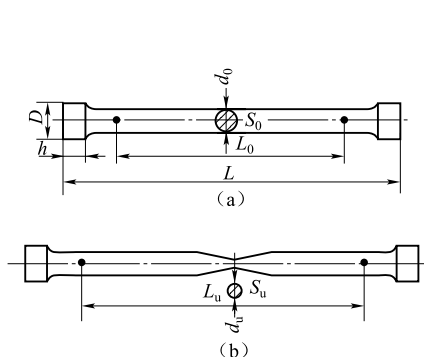


图 1-1 拉伸试样

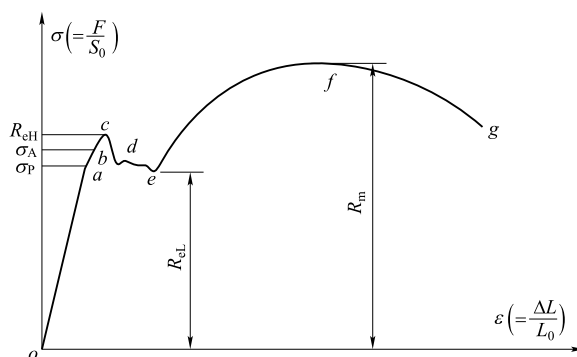


图 1-2 退火低碳钢拉伸曲线

### 1) 第 1 阶段：弹性变形阶段（ $oa$ ）

弹性变形阶段有两个特点。

(1) 从宏观上看，力与伸长量成直线关系，弹性伸长量与力的大小和试样标距长短成正比，与材料弹性模量及试样横截面积成反比。

(2) 变形是完全可逆的。加力时产生变形，卸力后变形完全恢复。

$oa$  线段的  $a$  点是应力-应变呈直线关系的最高点，此点的应力叫理论比例极限，超过  $a$  点，应力-应变则不再呈直线关系，即不再符合虎克定律。

### 2) 第 2 阶段：滞弹变形阶段（ $ab$ ）

在此阶段，应力-应变出现了非直线关系，其特点是：当力加到  $b$  点后卸力，应变仍可回到原点，但不是沿原曲线轨迹回到原点，而是在不同程度上滞后于应力回到原点，形成一个闭合环，加力和卸力所表现的特性仍为弹性行为，只不过有不同程度的滞后，因此称为滞弹性阶段。这个阶段的过程很短，也称理论弹性阶段，当力超过  $b$  点时，就会产生微塑性应变。

### 3) 第 3 阶段：微塑性应变阶段（ $bc$ ）

这一阶段是材料在加力过程中屈服前的微塑性变形部分。

### 4) 第 4 阶段：屈服阶段（ $cde$ ）

这一阶段是金属材料不连续屈服的阶段，也称为间断屈服阶段，其现象是当力加至  $c$  点时，突然产生塑性变形，由于试样变形速度非常快，以致试验机夹头的拉伸速度跟不上试样