



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

机械制造基础

实习教程

主编 邱兵 杨明金
主审 王立平



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

机械制造基础实习教程

主 编	邱 兵	杨明金
副主编	杨 玲	郑应彬
参 编	强 华	苏秀芝
主 审	王立平	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材根据教育部关于《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》和《普通高等学校机械制工程训练教学基本要求》，在西南大学和各兄弟院校课程建设和教学改革成果的基础上，结合机械工程学科领域新材料、新技术和新工艺在生产中的应用，组织富有多年教学经验的骨干教师编写而成。

本教材内容共 11 章，包括实习基础知识、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、其他切削加工方法和现代制造技术基础。

本教材可作为高等学校本科机械类、近机类及非机类各专业的机械制造基础实习(金工实习)的教材和参考书，也可供高职高专、成人教育、函授大学、电视大学和职工大学等同类专业选用，还可供有关专业的工程技术人员和技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础实习教程/邱兵, 杨明金主编. —北京: 北京大学出版社, 2010. 1

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-15848-7

I. 机… II. ①邱…②杨… III. 机械制造工艺—实习—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 167703 号

书 名: 机械制造基础实习教程

著作责任者: 邱 兵 杨明金 主编

责任编辑: 童君鑫

标准书号: ISBN 978-7-301-15848-7/TH·0164

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者:

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 495 千字

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

前 言

“机械制造基础实习”（“金工实习”或“工程训练”）是一门实践性很强的技术基础课，是机械类专业学生学习机械制造的基本工艺方法，是完成工程基本训练、培养工程素质的重要必修课。

本教材根据教育部关于《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》和《普通高等学校机械制工程训练教学基本要求》，在西南大学和各兄弟院校课程建设与教学改革成果的基础上，结合机械工程学科领域新材料、新技术和新工艺在生产中的应用，组织富有多年教学和实践经验的骨干教师编写而成。教材内容的选择和编写具有如下特点：

(1) 将材料成形和零件成形工艺过程加以类化，注重把握“机械制造基础实习”与“机械制造基础”两门课程的分工与配合，注意单工种的工艺分析和实践。

(2) 各章节内容安排合理，层次分明，重点突出。

(3) 力求处理好常规工艺与新技术、新工艺之间的关系，体现机械制造技术的历史传承与发展。

(4) 技术术语、材料牌号、量名称和符号符合我国现行国家标准和法定计量单位。

(5) 文字通顺，深入浅出，图文并茂，表格清晰，便于学生自学。

通过本课程的实践和学习，应使学生了解机械制造的一般过程，熟悉机械零件的常用加工方法、所用主要设备的工作原理和典型机构、工夹量具及安全操作技术，了解机械制造的基本工艺知识和一些新材料、新技术和新工艺在机械制造中的应用。对简单零件初步具有进行工艺分析和选择加工方法的能力，在主要工种上应具有独立完成简单零件加工制造的实践能力。结合实习培养学生的劳动观点、创新精神和理论联系实际的科学作风，为培养创新型应用人才打下一定的理论与实践基础，并使学生在提高工程师素质方面得到培养和锻炼。

本教材的第 1、2 章由西南大学邱兵编写，第 3 章由西南大学育才学院强华编写，第 4、6 章由西南大学郑应彬编写，第 5、7 章由西南大学杨明金编写，第 8 章由西南大学育才学院苏秀芝和强华编写，第 9、10 章由西南大学杨玲编写，第 11 章由西南大学育才学院强华编写。西南大学詹小斌、汪周和徐冲等参与了本教材各章资料收集和 AutoCAD 图的绘制。邱兵、杨明金任主编，杨玲、郑应彬任副主编，全书由邱兵负责统稿和定稿。

本教材由清华大学精密仪器与机械学系制造工程研究所王立平教授主审。

由于编者的学识水平和经验有限，教材中难免有欠妥与不足之处，敬请广大读者批评指正，以便再版时修正和完善。

编 者
2009 年 10 月

目 录

第 1 章 实习基础知识	1	2.2.5 浇注系统、冒口和冷铁	40
1.1 机械产品的设计与制造	2	2.2.6 零件的铸造工艺	43
1.1.1 机械产品的设计	2	2.3 铸造合金的熔炼与浇注、落砂 与清理	45
1.1.2 机械产品的制造过程	2	2.3.1 铸造合金的熔炼	45
1.1.3 机械产品的制造方法	3	2.3.2 合型与浇注	48
1.2 机械产品的质量与检测	3	2.3.3 铸件的落砂与清理	50
1.2.1 零件的加工质量	3	2.4 铸件的质量检验与缺陷分析	51
1.2.2 产品的装配质量	4	2.4.1 铸件的质量检验	51
1.2.3 质量检验的方法	4	2.4.2 铸件的缺陷分析	51
1.3 工程材料基础知识	6	2.5 特种铸造	53
1.3.1 常用工程材料的分类	6	2.5.1 熔模铸造	54
1.3.2 金属材料的性能	7	2.5.2 金属型铸造	54
1.3.3 常用钢铁材料的分类、编号、 管理和鉴别	8	2.5.3 压力铸造	55
1.4 钢的热处理基础知识	14	2.5.4 低压铸造	56
1.4.1 概述	14	2.5.5 离心铸造	57
1.4.2 普通热处理	15	小结	57
1.4.3 表面热处理	18	复习思考题	58
1.4.4 化学热处理	19	第 3 章 锻压	59
1.4.5 常用的热处理设备	20	3.1 概述	60
小结	22	3.1.1 锻压的定义及特点	60
复习思考题	22	3.1.2 锻压加工方法	60
第 2 章 铸造	24	3.2 锻压生产的工艺过程	62
2.1 概述	25	3.2.1 下料	62
2.1.1 铸造的定义、特点及 应用	25	3.2.2 坯料加热的目的及锻造 温度范围	62
2.1.2 砂型铸造的生产过程	25	3.2.3 加热缺陷及防止措施	63
2.1.3 铸型的组成	25	3.2.4 加热设备	64
2.2 砂型的制造	27	3.2.5 锻后冷却与热处理	66
2.2.1 造型材料	27	3.3 自由锻	67
2.2.2 造型的工艺装备	29	3.3.1 自由锻的定义、特点及 应用	67
2.2.3 造型	30	3.3.2 自由锻设备及工具	67
2.2.4 造芯	37	3.3.3 自由锻的生产工序	73

3.3.4	自由锻工艺过程示例	78	4.3.2	气体保护焊	117
3.4	模锻	82	4.4	气焊与气割	120
3.4.1	模锻的定义、特点及应用	82	4.4.1	气焊	120
3.4.2	模锻设备及锻模	82	4.4.2	气割	127
3.4.3	模锻工艺过程示例	84	4.5	焊接的质量检验与缺陷分析	130
3.5	胎模锻	85	4.5.1	焊接的质量检验	130
3.5.1	胎模锻的定义、特点及应用	85	4.5.2	常见的焊接缺陷分析	131
3.5.2	胎模的种类	85	4.6	其他焊接方法	133
3.5.3	胎模锻工艺过程示例	86	4.6.1	压力焊	133
3.6	锻件的质量检验与缺陷分析	87	4.6.2	钎焊	135
3.6.1	锻件的质量检验	87	小结		136
3.6.2	锻件的缺陷分析	87	复习思考题		137
3.7	板料冲压	89	第5章 切削加工基础知识		139
3.7.1	冲压的定义、特点及应用	89	5.1	概述	140
3.7.2	冲压设备	90	5.1.1	切削加工的分类及特点	140
3.7.3	冲压基本工序	91	5.1.2	切削运动	141
3.7.4	冲压模具	94	5.1.3	切削用量	141
3.7.5	冲压件常见的缺陷分析	96	5.2	刀具材料	142
小结		96	5.2.1	刀具材料应具备的性能	142
复习思考题		97	5.2.2	常用的刀具材料	143
第4章 焊接		99	5.2.3	其他新型刀具材料	145
4.1	概述	100	5.3	金属切削机床的基础知识	146
4.1.1	焊接的定义	100	5.3.1	机床的分类和型号编制	146
4.1.2	焊接方法的分类	100	5.3.2	机床的传动	149
4.1.3	焊接的特点及应用	101	5.4	常用量具	153
4.2	手工电弧焊	101	5.4.1	游标卡尺	153
4.2.1	电弧焊基础	101	5.4.2	千分尺	155
4.2.2	手弧焊的定义、特点及焊接过程	103	5.4.3	百分表	157
4.2.3	手弧焊设备	103	5.4.4	量规	157
4.2.4	手弧焊工具	104	5.5	工艺和夹具的基础知识	158
4.2.5	电焊条	105	5.5.1	工艺	158
4.2.6	手弧焊工艺	109	5.5.2	夹具	159
4.2.7	手弧焊基本操作	112	5.6	切削加工后零件的质量	160
4.3	埋弧自动焊和气体保护焊	116	5.6.1	加工精度	160
4.3.1	埋弧自动焊	116	5.6.2	表面质量	162
			小结		163
			复习思考题		163

第6章 钳工	165	7.4.4 心轴装夹	208
6.1 概述	166	7.4.5 花盘装夹	209
6.1.1 钳工的常用设备	166	7.4.6 跟刀架和中心架的 使用	209
6.1.2 钳工的工艺特点	167	7.5 车削加工的操作方法及 基本操作	210
6.1.3 钳工的应用范围	167	7.5.1 车削加工的操作方法	210
6.2 钳工的基本操作	167	7.5.2 车削加工的基本操作	212
6.2.1 划线	167	7.6 典型零件的车削工艺	221
6.2.2 锯削	172	7.6.1 制定零件加工工艺的 内容和步骤	222
6.2.3 锉削	174	7.6.2 车削加工的工艺过程 示例	222
6.2.4 孔及螺纹加工	178	7.7 其他车床	224
6.2.5 刮削	181	7.7.1 立式车床	224
6.2.6 钳工加工工艺示例	182	7.7.2 落地车床	225
6.3 装配	184	小结	226
6.3.1 装配基础知识	184	复习思考题	226
6.3.2 装配工艺过程	185	第8章 铣削加工	229
6.3.3 典型连接件的装配方法	187	8.1 概述	230
6.3.4 机器的拆卸与修理	189	8.1.1 铣削运动与铣削用量	231
6.3.5 装配新工艺	189	8.1.2 铣削方式	231
小结	189	8.1.3 铣削加工的工艺特点	232
复习思考题	190	8.2 铣床	232
第7章 车削加工	192	8.2.1 万能升降台铣床	232
7.1 概述	193	8.2.2 立式升降台铣床	233
7.1.1 车削运动与车削用量	193	8.2.3 龙门铣床	234
7.1.2 车削加工的工艺特点	193	8.3 铣刀及其装夹	235
7.2 卧式车床	194	8.3.1 铣刀种类	235
7.2.1 C6132 卧式车床的组成	194	8.3.2 铣刀的装夹	235
7.2.2 C6132 卧式车床的传动	196	8.4 铣床附件及工件装夹	237
7.2.3 C6132 卧式车床的调整及 手柄的使用	198	8.4.1 铣床附件及其应用	237
7.3 车刀	199	8.4.2 工件装夹	240
7.3.1 车刀的种类及结构	199	8.5 铣削加工的基本操作及工艺 过程示例	242
7.3.2 车刀的刀具要素与刀具 角度	200	8.5.1 铣削加工的基本操作	242
7.3.3 车刀的刃磨	204	8.5.2 铣削加工的工艺过程 示例	247
7.3.4 车刀的装夹	205	小结	249
7.4 工件装夹及所用附件	205	复习思考题	249
7.4.1 三爪卡盘装夹	205		
7.4.2 四爪卡盘装夹	206		
7.4.3 顶尖装夹	207		

第 9 章 刨削加工	251	10.2.4 磨削方式	285
9.1 概述	252	10.2.5 其他磨削加工方法	286
9.1.1 刨削运动与刨削用量	252	10.3 齿形加工	288
9.1.2 刨削加工的工艺特点	253	10.3.1 概述	288
9.2 牛头刨床	253	10.3.2 滚齿与插齿	288
9.2.1 牛头刨床的组成	253	10.3.3 剃齿、珩齿、磨齿	289
9.2.2 牛头刨床的传动	254	10.4 拉削加工	290
9.2.3 牛头刨床的调整	256	10.4.1 拉削加工的工艺特点	290
9.3 刨刀及其装夹	256	10.4.2 拉削方式	291
9.3.1 刨刀的结构特点	256	10.4.3 拉削的典型加工范围	292
9.3.2 刨刀的种类及其应用	257	小结	292
9.3.3 刨刀的装夹	257	复习思考题	293
9.4 工件装夹	258	第 11 章 现代制造技术基础	295
9.4.1 机用虎钳装夹	258	11.1 概述	296
9.4.2 工作台装夹	258	11.2 数控加工	296
9.4.3 专用夹具装夹	258	11.2.1 数控加工基础知识	297
9.5 刨削加工的基本操作及工艺过程		11.2.2 数控车床加工	301
示例	259	11.2.3 数控铣床加工	309
9.5.1 刨削加工的基本操作	259	11.3 CAD/CAM	317
9.5.2 刨削加工的工艺过程		11.3.1 CAD/CAM 的定义	317
示例	261	11.3.2 CAD/CAM 系统的	
9.6 其他刨床	262	组成	318
9.6.1 龙门刨床	263	11.3.3 CAD/CAM 的主要	
9.6.2 插床	263	任务	319
小结	264	11.3.4 CAD/CAM 的软件	319
复习思考题	264	11.3.5 CAD/CAM 的应用	320
第 10 章 其他切削加工方法	266	11.4 CIMS	321
10.1 钻削加工	267	11.4.1 CIMS 的特征	321
10.1.1 钻床	267	11.4.2 CIMS 的组成	321
10.1.2 钻削加工刀具及钻床上所		11.4.3 CIMS 的应用	322
用的附件	269	11.5 特种加工	323
10.1.3 钻削加工刀具及工件		11.5.1 概述	323
的装夹	271	11.5.2 数控电火花线切割	324
10.1.4 钻削加工的操作方法	272	11.5.3 电火花成形加工	327
10.1.5 镗削加工	274	11.5.4 激光加工	327
10.2 磨削加工	277	11.5.5 超声加工	328
10.2.1 磨床	278	小结	329
10.2.2 砂轮	280	复习思考题	329
10.2.3 砂轮和工件的装夹	283	参考文献	331

第1章

实习基础知识



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
机械产品的设计与制造	了解机械产品的制造过程和制造方法	机械产品的设计和制造过程； 机械零件的加工； 机械产品的装配与调试
机械产品的质量与检测	了解产品加工质量(加工精度、表面质量)和装配质量(装配精度)的相关知识； 了解常用的产品质量检测方法	加工精度与表面质量； 金属材料的检测方法，尺寸的检测方法
工程材料基础知识	掌握常用工程材料的分类和金属材料的性能； 了解常用钢铁材料的分类、编号、管理和鉴别	常用工程材料的分类； 金属材料的性能； 钢铁材料的分类及编号、管理及鉴别
钢的热处理基础知识	了解热处理的定义、目的、作用及分类； 了解普通热处理、表面热处理和化学热处理的工艺过程； 了解常用的热处理设备的原理、结构及特点	普通热处理； 表面热处理； 化学热处理； 热处理设备

1.1 机械产品的设计与制造

产品是指提供给市场、满足人们某些欲望或需求的一切东西，产品是制造的结果。制造是一种将物料、能源、资金、人力、信息等资源按照社会需求转变为有形的物质产品和无形的软件、服务等具有更高应用价值的产品的行为和过程。

1.1.1 机械产品的设计

现代工业产品设计是根据市场的需求，运用工程技术方法，在社会、经济和时间等因素的约束范围内所进行的设计工作。产品设计是一种有特定目的的创造性行为，它应该基于现代技术因素，不但注重外观，更要注重产品的结构和功能，必须以满足市场需要为目标，讲求经济效益，使消费者与制造者双方都满意。

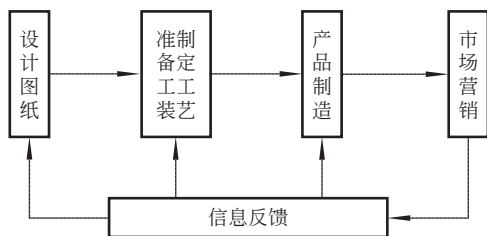


图 1.1 机械制造的宏观过程

任何机器产品的制造首先是设计图纸，再根据图纸制定工艺文件和进行工艺准备，然后才是产品制造，最后是市场营销。将各个阶段的信息反馈回来，从而使产品不断完善。机械制造的宏观过程如图 1.1 所示。因此，产品设计是一个作出决策的过程，也是机械制造全过程的核心，直接决定了产品的技术水平、质量水平、生产效率水平及成本水平等。

1.1.2 机械产品的制造过程

任何机器或设备，如汽车、机床等，都是经过产品设计、零件制造及相应的零件装配而制成的。只有制造出合乎要求的零件，才能装配出合格的机器产品。

机械产品的制造过程就是产品从原材料转变为成品的全过程。在机械制造过程中，一般是将原材料先用铸造、锻压或焊接等方法制成毛坯(也可直接生产零部件)，再进行切削加工或特种加工，并经过热处理或其他处理(改善零件的某些性能)，最后将制成的零件加以装配、调试，合格后成为机器。原材料包括生铁、钢锭、各种金属型材及非金属材料等。

因此，一般机械产品的主要制造过程如图 1.2 所示。

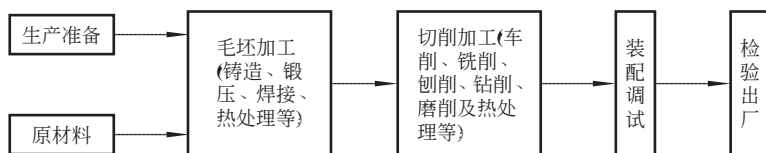


图 1.2 机械产品的主要制造过程

由于企业专业协作的不断加强，机械产品的各零部件的生产不一定完全由一个企业完成，可以分散在多个企业，进行生产协作。而螺钉、轴承等标准件的加工，往往由专业生产厂家完成。

1.1.3 机械产品的制造方法

1. 机械零件的加工

机械零件的制造方法分为加工和处理。其中将原料或毛坯制成所需形状和尺寸的工件的方法称为加工，而把改变金属的组织和方法称为处理。

机械零件的加工根据各阶段所达到的质量要求不同，可分为毛坯加工和切削加工两个主要阶段。热处理工艺穿插在其间进行。

1) 毛坯加工

毛坯加工的主要方法有铸造(液态成形)、锻压(塑性成形)和焊接(连接成形)等。这些加工方法可以比较经济、高效地加工各种形状和尺寸的毛坯(或工件)。

由于毛坯加工时一般需要对原材料进行加热，因此，习惯上又被称为热加工。

2) 切削加工

切削是利用切削工具将坯料或工件上多余材料切除，以获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的加工方法。切削加工分为钳工和机械加工两大类，其中，机械加工占有主要地位。钳工一般是指由操作者手持各种工具在钳台上对工件进行切削加工的方法，基本操作包括划线、錾削、锯削、锉削、钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹、套螺纹、刮削、研磨、装配和修理等。机械加工是指将工件装夹于机床上，由操作者通过操纵机床对工件进行切削加工的方法。根据所用机床的不同，机械加工又可分为车削加工、铣削加工、刨削加工、钻削加工、磨削加工和齿形加工等。

由于切削加工一般不需要对原材料或零件进行加热，因此，习惯上又被称为冷加工。

2. 机械产品的装配与调试

任何机械产品都是由若干零件组成的。加工完毕并经检验合格的零件，根据机械产品的技术要求，用钳工或钳工与机械相结合的方法，按照组件装配→部件装配→总装配的顺序组合、连接、固定起来，成为一台完整的机器，并经过调整、试验使之成为产品的过程称为装配。装配是机械产品制造过程的最后一道工序，也是保证机器产品达到各项技术要求的关键工序之一。机器产品质量的优劣，不仅取决于零件的加工质量，而且取决于装配质量，即使零件的加工质量很好，如果装配工艺不正确，也不能获得高质量的产品。

有关装配的基本知识、工艺过程、典型连接件的装配方法等内容见本书6.3节。

1.2 机械产品的质量与检测

机械产品是由若干机械零件装配而成的，产品的使用性能和寿命取决于零件的质量和装配质量。零件的质量主要是指零件的材质、力学性能和加工质量等。其中，有关零件的材质和力学性能等内容见本书1.3节。

1.2.1 零件的加工质量

零件的加工质量一般是指其加工精度和表面质量。

1. 加工精度

加工精度是指经加工后零件的尺寸、形状和表面之间相互位置等实际几何参数与理想几何参数之间相符合的程度，相符合的程度越高，零件的加工精度越高。而实际生产中常常用实际几何参数相对于理想几何参数的偏离，即加工误差的大小来表示加工精度。很显然，加工误差越小，加工精度越高。

零件的几何参数加工得绝对准确是不可能的，也是没有必要的。在保证零件使用性能的前提下，应对加工误差规定一个范围(称为公差)。零件的公差越小，对加工精度的要求就越高，零件的加工就越困难。

零件的加工精度包括尺寸精度、形状精度和位置精度。相应地存在尺寸误差、形状误差、位置误差以及尺寸公差、形状公差、位置公差。

有关加工精度的内容见本书 5.6.1 节。

2. 表面质量

零件的表面质量是指零件的表面粗糙度、波度、表面层冷变形强化程度、表面残余应力的性质和大小、表面层金相组织等，一般主要考虑的是表面粗糙度。

有关表面质量的内容见本书 5.6.2 节。

1.2.2 产品的装配质量

装配质量的好坏直接决定了产品的质量，产品设计时的各项技术指标，必须由合格的零件和正确的装配工艺保证。

装配精度是衡量装配质量的指标，主要有以下几项：

(1) 零部件之间的尺寸精度。其中包括配合精度和距离精度。配合精度是指配合面之间达到规定间隙或过盈的要求；距离精度是指零部件之间的轴向距离、轴线之间的距离等。

(2) 零部件之间的位置精度。其中包括零部件的平行度、垂直度、同轴度和各种跳动。

(3) 零部件之间的相对运动精度。是指有相对运动的零部件之间，在运动方向和运动位置上的精度。如在车床上车螺纹时，刀架与主轴之间的相对移动精度等。

(4) 接触精度。是指两个配合表面、接触表面和连接表面之间达到规定的接触面积大小与接触点分布情况。如相互配合的轴与孔、相互啮合的齿轮、相互接触的导轨面等都有接触精度要求。

1.2.3 质量检验的方法

机械加工不仅要利用各种加工方法，使零件达到一定的质量要求，而且还要通过相应的手段来进行检验。检验应自始至终伴随着整个机械制造过程的每一道加工工序。同一种要求可以通过一种或几种方法来进行检验。质量检验的方法、涉及的范围和内容很多，主要有金属材料检测、尺寸检测、表面粗糙度检测、形状和位置误差检测等。

1. 金属材料的检测方法

金属材料应对其外观、尺寸、物理化学等三个方面进行检测。外观检测一般采用目测法。尺寸检测一般使用样板、钢直尺、钢卷尺、游标卡尺、千分尺等量具进行检测。而物理化学检测项目较多，主要包括化学成分分析、金相组成分析、力学性能试验、工艺性能

试验、物理性能试验、化学性能试验、无损探伤等。

1) 化学成分分析

化学成分分析是根据来料保证单中指定的标准化学成分，由专职检验人员对材料的化学成分进行定性或定量分析的检测方法，主要有化学分析法、光谱分析法、火花鉴别法等。

(1) 化学分析法。是一种能够测定金属材料各种元素含量的定量分析方法，也是工厂中必备的常规检测手段。

(2) 光谱分析法。是根据物质的光谱测定物质组成的定量分析方法，其测量工具为台式和便携式光谱分析仪器。

(3) 火花鉴别法。是用砂轮对钢铁材料进行磨削，由产生的火花特征来判断其成分的定性分析方法。

2) 金相组织分析

金相组织分析是鉴别金属及合金的组织结构的检测方法，一般有宏观检验和微观检验两种。

(1) 宏观检验(即低倍检验)。是用目测或在低倍(不大于10倍)放大镜下检测金属材料表面或断面，以确定其宏观组织的金相检测方法，主要有硫印试验、断口检验、酸蚀试验、发纹试验等。

(2) 显微检验(即高倍检验)。是在光学显微镜下观察、辨认和分析金属的微观组织的金相检验方法。

3) 力学性能试验

力学性能试验有硬度试验、拉伸试验、冲击试验、疲劳试验、高温蠕变及其他试验等。力学性能试验应在专用的试验设备上进行。

4) 工艺性能试验

工艺性能试验有弯曲、反复弯曲、扭转、缠绕、顶锻、扩口、卷边以及淬透性试验和焊接试验等。工艺性能试验也应在专用的试验设备上进行。

5) 物理性能试验

物理性能试验有电阻系数测定、磁学性能测定等。

6) 化学性能试验

化学性能试验有晶间腐蚀倾向试验等。

7) 无损探伤

无损探伤是在不损坏原有材料的情况下，检测其表面和内部缺陷的检测方法，主要有磁粉探伤、超声探伤、射线探伤、渗透探伤、涡流探伤等。

(1) 磁粉探伤。利用铁磁性材料在磁场中会被磁化，而夹杂物等缺陷是非磁性物质及裂缝处磁力线均不易通过的原理，来检测工件表层存在的缺陷。检测时，在工件表面铺洒上导磁性良好的磁粉(氧化铁粉)，磁粉就会被缺陷处形成的局部磁极所吸引，堆积于其上，即可显现出缺陷的形状、尺寸和位置。磁粉探伤主要适用于检测铁磁性金属及合金表面的微小缺陷，如裂纹、折叠、夹杂等。

(2) 超声探伤。利用超声波传播时有明显指向性的原理，来检测工件内部存在的缺陷。当超声波遇到缺陷时，缺陷处的声阻抗与工件的声阻抗相差很大，因此，大部分超声能量被反射回来。通过对超声波的接收，即可根据超声波返回时间和强度来判断缺陷的形状、尺寸和位置。超声探伤主要适用于检测大型铸件、锻件、焊件或棒料的内部缺陷，如

裂纹、气孔、夹渣等。

(3) 射线探伤。利用各种射线(如 X 射线和 γ 射线等)透过不同物质时, 衰减程度不同可以使照像底片感光不同的原理, 来检测工作内部存在的缺陷。射线通过工件内部缺陷处的衰减程度小, 因此, 置于另一侧相应部位的底片感光就强, 从而通过底片显现出工件内部气孔、未焊透等缺陷的形状、尺寸和位置。射线探伤主要适用于检测金属的内部缺陷, 如裂纹、气孔、夹渣等。

(4) 渗透探伤。在清洗过的工件表面涂上渗透剂(即着色剂, 如苏丹红染料或荧光染料等), 待其渗入表面缺陷内, 然后将表面多余的渗透剂擦拭干净, 再涂上一薄层显像剂, 显像剂利用毛细管作用将缺陷内的残留渗透剂吸出, 从而显现出缺陷的形状、尺寸和位置。渗透探伤主要适用于检测金属表面的微小缺陷, 如裂纹等。

(5) 涡流探伤。将一个通有交流电的线圈, 放置于一根金属管内, 管内将感应出周向的电流(即涡流)。涡流的变化会使得线圈的阻抗、通过电流的大小和相位发生变化。管(即工件)的直径、厚度、电导率和磁导率的变化以及缺陷会影响涡流, 进而影响线圈(检测探头)的阻抗, 并通过检测阻抗的变化达到探伤的目的。涡流探伤主要适用于检测材料的电导率、磁导率、薄壁管壁厚和材料缺陷。

2. 尺寸的检测方法

尺寸在 1000mm 以下、公差值大于 $0.008 \sim 3.2\mu\text{m}$ 、有配合要求的工件(原则上也适用于无配合要求的工件), 一般使用普通量具(如游标卡尺、千分尺、百分表等)进行检测(有关常用量具的内容见本书 5.4 节)。特殊情况下, 还可使用测距仪、激光干涉仪、经纬仪、钢卷尺等进行检测。

3. 表面粗糙度的检测方法

表面粗糙度的检测方法有样板比较法、显微镜比较法、电动轮廓仪测量法、光切显微镜测量法、干涉显微镜测量法等。生产实践中, 一般使用样板比较法, 即以表面粗糙度比较样块工作面上的粗糙度为标准, 用视觉法和触摸法与被检测表面进行比较, 以判定被检测表面是否符合要求。

4. 形状和位置误差的检测方法

形位误差的检测方法很多, 应根据形面及公差要求的不同, 选择适当的方法进行检测。

1.3 工程材料基础知识

机械制造过程的主要对象是零件或产品。与零件或产品一样, 机械制造过程所用到的刀具、量具、夹具、模具等工装, 以及机床设备等都是由各种各样的工程材料制造出来的。

1.3.1 常用工程材料的分类

工程材料是指各种工程领域中所应用的材料。按照化学成分的不同, 工程材料可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类, 如图 1.3 所示。

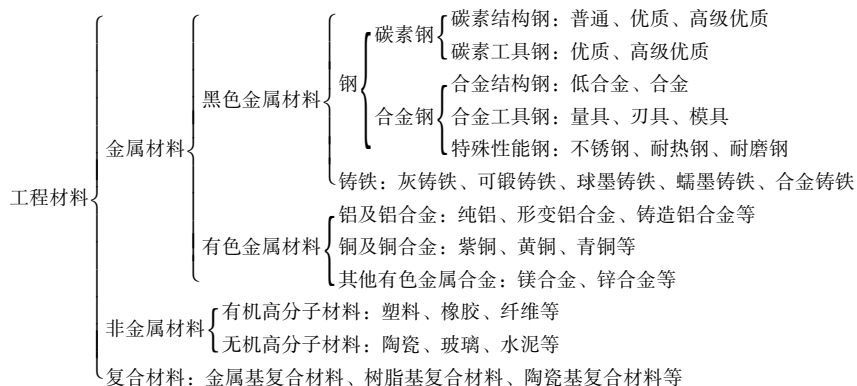


图 1.3 工程材料的分类

长期以来，金属材料由于具有优异的力学性能，是应用最为广泛的工程材料，但随着科技与生产的不断发展，非金属材料 and 复合材料的应用也越来越广泛，二者不但能够替代部分金属材料，且因其具有某些金属材料所不具有的特殊性能而在工程上占有越来越重要的独特地位。

1.3.2 金属材料的性能

金属材料的性能一般分为使用性能、工艺性能和经济性能。

1. 使用性能

使用性能是指金属材料为满足零件或产品的使用要求而必须具备的性能，包括物理性能、化学性能和力学性能，是选材的主要依据，其中，力学性能是最主要的。金属材料使用性能的优劣决定了机械零件或产品的使用范围和寿命。

1) 物理性能和化学性能

金属材料的物理性能和化学性能是指金属材料本身具有的属性。物理性能包括密度、比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、磁性和耐磨性等；化学性能包括耐热性（抗氧化性）和耐腐蚀性等。

2) 力学性能

金属材料的力学性能（又称为机械性能）是指金属材料在外力作用时所表现出来的各种性能，主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧性等，是选材和机械零件设计的重要依据。

(1) 强度是指金属材料在外力作用下抵抗永久变形（即塑性变形）或断裂的能力，主要指标为屈服点（即屈服强度）和抗拉强度，其值可由拉伸试验测定。屈服点反映金属材料在拉伸中对明显塑性变形的抵抗能力，用符号 σ_s 表示，单位为 MPa；抗拉强度反映金属材料在拉伸中对断裂的抵抗能力，用符号 σ_b 表示，单位为 MPa。

(2) 塑性是指金属材料在外力作用下发生不可逆永久变形（即塑性变形）而不破坏的能力，主要指标为伸长率（延伸率）和断面收缩率，其值可由拉伸试验同时测定。伸长率和断面收缩率分别反映金属材料在拉伸中长度和横截面方向上的最大变形量，分别用符号 δ 和 ψ 表示。

(3) 硬度是指金属材料抵抗另外物体压入其表面的能力，主要指标为布氏硬度、洛氏硬度，其值可由硬度计测定。布氏硬度值反映用一定直径的淬火钢球或硬质合金球，在试

样表面的压痕单位面积上所承受的平均压力大小，用符号 HBS(用淬火钢压头时)或 HBW(用硬质合金压头时)表示，其中 HBS 应用最为广泛。洛氏硬度值反映用金刚石圆锥或一定直径的淬火钢球压入被测材料表面的压痕深度的大小，用符号 HR 表示，并根据压头和试验力的不同，有 HRA、HRB、HRC 等几种标尺，其中 HRC 应用最为广泛。硬度值一般应写在表示符号前面。

(4) 冲击韧性是指金属材料抵抗冲击载荷而不断裂的能力，主要指标为冲击韧度，其值可由冲击试验测定。冲击韧度反映试样单位横截面上冲击吸收功 A_k 的大小，用符号 α_k 表示，单位为 kJ/m^2 。

2. 工艺性能

工艺性能是指金属材料适应加工方法的能力，包括铸造工艺性能、锻压工艺性能、焊接工艺性能、切削加工工艺性能和热处理工艺性能等，是选材时也必须同时考虑的依据。金属材料工艺性能的优劣，决定了机械零件或产品加工的难易程度、质量、效率、成本等。

(1) 铸造工艺性能。包括铸造合金的流动性、收缩性、偏析性、吸气性、热裂倾向性等，主要用金属液的流动性和冷却凝固过程中的收缩性来衡量。流动性好，收缩性小，则铸造工艺性能好。

(2) 锻压工艺性能。包括可锻性、冷锻性、冲压性、锻后冷却要求等，主要用金属的塑性和变形抗力来衡量。塑性高，变形抗力小，则锻压工艺性能好。

(3) 焊接工艺性能。即焊接接头产生裂纹、气孔等缺陷的敏感性及其使用性能，主要用可焊性来衡量。对缺陷不敏感，连接强度高，则焊接工艺性能好。

(4) 切削加工工艺性能。即材料接受切削加工的能力，主要用切削抗力的大小、工件加工后的表面质量、刀具耐用度、断屑能力等来衡量。一般钢材硬度为 200HBS 时，具有较好的切削加工工艺性能。

(5) 热处理工艺性能。包括淬透性、耐回火性及变形开裂倾向、过热敏感性及回火脆性、氧化脱碳倾向等。

3. 经济性能

经济性能是指金属材料选用时，在满足机械零件或产品使用性能的前提下，使其生产和使用的总成本最低、经济效益最高的性能。总成本包括材料价格、材料的利用率和回收率、零件成品率、加工费用、零件寿命以及材料的货源、供应、储运等综合因素。

1.3.3 常用钢铁材料的分类、编号、管理和鉴别

虽然非金属材料 and 复合材料的应用越来越广泛，但在机械制造领域中仍然是以金属材料为主，尤其是以钢、铁等黑色金属材料为主。

1. 钢铁材料的分类

钢铁材料是以铁和碳为主要成分的碳钢和铸铁的总称。一般将碳的质量分数 w_c (即含碳量) 小于 2.11% 的铁碳合金称为碳钢，碳的质量分数 w_c 大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。 w_c 大于 6.69% 的铁碳合金脆性极大，没有使用价值。常用钢铁材料的分类见表 1-1。

表 1-1 常用钢铁材料的分类

类别	分类原则	名 称	特点及应用
碳素钢	按化学成分 (碳质量 分数 C%)	低碳钢($w_c \leq 0.25\%$)	强度低, 塑、韧性好, 锻压和焊接性能好
		中碳钢($w_c = 0.25\% \sim 0.60\%$)	强度较高, 兼有一定塑性、韧性
		高碳钢($w_c > 0.6\%$)	强、硬度高, 塑性、韧性较差
	按主要用途	碳素结构钢	用于制造各种工程结构零件(如桥梁、船舶、建筑构件等)和机器零件(如齿轮、轴、连杆等)
		碳素工具钢	用于制造各种工具(如刀具、量具、模具等)
	按冶金质量等级 (硫、磷质量 分数 S%、P%)	普通碳素钢 ($w_s \leq 0.055\%$, $w_p \leq 0.045\%$)	主要用于制造各种型材, 用于桥梁、船舶、建筑构件等, 也用于制造螺钉、螺母、铆钉等标准件
		优质碳素钢 ($w_s \leq 0.040\%$, $w_p \leq 0.040\%$)	主要用于制造各种机器零件
		高级优质碳素钢 ($w_s \leq 0.030\%$, $w_p \leq 0.035\%$)	主要用于制造各种重要的机器零件
	合金钢	按化学成分 (合金元素质量 分数 Me%)	低合金钢($w_{Me} \leq 5\%$)
中合金钢($w_{Me} = 5\% \sim 10\%$)			
高合金钢($w_{Me} > 10\%$)			
按主要用途		合金结构钢(低合金高强度钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢等)	用于制造重要工程结构和机器零件
		合金工具钢(合金刀具钢、合金模具钢、合金量具钢等)	用于制造重要的、形状复杂的工具
		特殊性能钢(不锈钢、耐热钢、耐磨钢)	用于制造有耐腐蚀、耐高温、耐磨损等特殊性能要求的零件
铸铁	按石墨形态	灰(口)铸铁(石墨呈粗片状)	价格便宜, 铸造和切削加工工艺性能好, 应用最广泛
		孕育铸铁(石墨呈细片状)	力学性能优于灰铸铁, 用于制造力学性能要求较高的机械零件
		可锻铸铁(石墨呈团絮状)	并不可锻, 强度、塑性、韧性优于灰铸铁
		球墨铸铁(石墨呈球状)	具有良好的综合机械性能, 用于制造力学性能要求高的机械零件
	按碳的存在形式	灰口铸铁(以石墨形式存在)	用于制造一般铸件
		麻口铸铁(以石墨+渗碳体存在)	很少使用
		白口铸铁(以渗碳体形式存在)	主要用于炼钢原料或可锻铸铁零件毛坯, 很少直接制造机械零件
	按合金元素质量分数	普通铸铁	用于制造一般铸件
合金铸铁(耐磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁等)		用于制造有耐腐蚀、耐高温、耐磨损等特殊性能要求的铸件, 但不如特殊性能钢	