



普通高等教育规划教材

机械制造工程 实践教程

何国旗 何 瑛 主编
明兴祖 主审

JIXIE ZHIZAO GONGCHENG
SHIJIAN JIAOCHENG



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

机械制造工程 实践教程

何国旗 何 瑛 主 编
吴吉平 喻训谦 胡建强 吴爱华 副主编
明兴祖 主 审

JIXIE ZHIZAO GONGCHENG
SHIJIAN JIAOCHENG



化学工业出版社

本书结合教学改革的需要及高等学校、高职院校工科金工实习的实际编写而成。全书共十四章,包括机械工程材料及热处理、金属切削加工基础知识、车、铣、刨、磨、钳工、装配、铸造、锻造与冲压、焊接与胶接以及数控加工、特种加工和非金属材料加工等。本书取材新颖,结构紧凑,文字简练;做到先进加工方法与传统加工方法的结合与连贯,既具有科学性、系统性,又具有实用性、先进性;有利于提高学生的工程素质和工程实践能力的培养;加强学生的创新思维能力、获取知识的能力和分析问题、解决问题的能力培养。本教材配套有《机械制造工程训练报告》同时出版。

本书可作为普通高等教育机械类、近机械类及非机械类专业的教材,也可供从事机械设计及制造的技术人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程实践教程/何国旗,何瑛主编. —北京:
化学工业出版社, 2011.1
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-10098-6

I. 机… II. ①何…②何… III. 机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 240698 号

责任编辑:高 钰
责任校对:陈 静

文字编辑:张绪瑞
装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:北京市白帆印务有限公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数359千字 2011年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 27.00 元

版权所有 违者必究

前 言

机械制造工程实践课程是各工科专业学生在进行金工实习时，正确掌握材料的各种加工方法，了解毛坯和零件加工的工艺过程，了解当今制造业的先进加工方法和先进制造理念的一门实践性很强的技术基础课。本门课程可指导学生的实习操作，使学生在实习过程中获得机械加工初步的操作技能，能为后继课程的学习和今后的工作打下一定的实践基础。

本书由富有多年教学经验和实践经验的骨干教师，结合教学改革的需要及高等学校、高职院校工科金工实习的实际编写而成。全书共十四章，包括机械工程材料及热处理、金属切削加工基础知识、车、铣、刨、磨、钳工、装配、铸造、锻造与冲压、焊接与胶接以及数控加工、特种加工和非金属材料加工等。本书在编写过程中，力求取材新颖，结构紧凑，文字简练；做到先进加工方法与传统加工方法的结合与连贯，既具有科学性、系统性，又具有实用性、先进性；有利于提高学生的工程素质和工程实践能力的培养；加强学生的创新思维能力、获取知识的能力和分析问题、解决问题的能力培养。

与本教材配套出版有《机械制造工程训练报告》，《机械制造工程训练报告》依据国家教育部颁布的“金工实习教学基本要求”及为适应教育、教学的发展而编写，涵盖金工实习中的所有工程实践及训练，包括机械工程材料及热处理、金属切削加工基础知识、车、铣、刨、磨、钳工、装配、铸造、锻造与冲压、焊接与胶接以及数控加工、特种加工和非金属材料加工等。全书分为两部分，第一部分供机械类专业学生使用，第二部分供非机械类专业学生使用。通过本报告，可提高工程训练教学质量和检查工程训练教学效果，使学习内容更加贴近于现代制造技术。

本书由何国旗、何瑛担任主编；吴吉平、喻训谦、胡建强、吴爱华担任副主编，明兴祖主审。张柱银、姚建民、刘金华、熊显文参加编写。

由于编者的学识水平和经验有限，书中难免有不妥之处，诚请批评指正。

编 者

2010年11月

目 录

第一章 绪论	1	第一节 概述	91
第一节 机械制造生产过程简介	1	第二节 砂轮	93
第二节 课程的性质、任务、内容和要求	4	第三节 常用磨床及其组成	98
第二章 机械工程材料	6	第四节 磨削方法	100
第一节 金属材料的基础知识	6	第五节 光整加工	106
第二节 常用的非金属材料	14	第八章 钳工	113
第三节 金属材料热处理	16	第一节 概述	113
第四节 金属常用表面处理技术	19	第二节 钳工常用器具	113
第五节 金属材料的选用	22	第三节 划线	117
第三章 金属切削加工基础知识	26	第四节 锉削	121
第一节 切削加工概述	26	第五节 锯割	125
第二节 刀具材料和刀具主要几何角度	28	第六节 钻孔、扩孔和铰孔	126
第三节 常用切削加工机床的类型和型号	30	第七节 攻螺纹与套螺纹	129
第四节 零件的加工质量	32	第八节 刮削	132
第五节 常用量具	34	第九章 装配	135
第四章 车削加工	39	第一节 装配的概念及内容	135
第一节 概述	39	第二节 装配方法	136
第二节 普通车床	40	第十章 铸造	145
第三节 车刀	43	第一节 概述	145
第四节 工件装夹及所用附件	46	第二节 砂型铸造	145
第五节 车床操作要点及车削加工的基本 操作	51	第三节 特种铸造	153
第六节 典型零件的车削工艺	60	第十一章 锻造与冲压	157
第五章 铣削加工	65	第一节 概述	157
第一节 概述	65	第二节 锻前加热与锻后冷却	158
第二节 铣床	68	第三节 自由锻造	159
第三节 铣刀及其安装	70	第四节 模型锻造	164
第四节 分度头结构及分度方法	72	第五节 板料冲压	166
第五节 工件的装夹	74	第十二章 焊接与胶接	169
第六节 铣削加工的基本操作	75	第一节 概述	169
第七节 典型零件的铣削过程	80	第二节 手工电弧焊	170
第六章 刨削加工	82	第三节 气焊	177
第一节 概述	82	第四节 胶接	180
第二节 刨床	83	第十三章 数控加工	183
第三节 刨刀与工件的安装	85	第一节 数控加工概述	183
第四节 刨削加工	87	第二节 数控加工	185
第七章 磨削加工与光整加工	91	第三节 典型数控加工方法	190
		第四节 先进制造技术简介	200

第十四章 特种加工与非金属材料	
加工	203
第一节 概述	203
第二节 电火花加工	204
第三节 数控电火花线切割加工	207
第四节 电解加工	210
第五节 激光加工	211
第六节 超声波加工	212
第七节 非金属材料成形	214
参考文献	219

第一章 绪 论

第一节 机械制造生产过程简介

一、机械制造工程

机械制造企业是生产制造与经营机械产品的工业企业。机械制造工程是指机械制造企业在从最初识别市场需求到最终满足用户要求的全过程中，所进行的一系列活动的总和。这些活动包括：营销和市场调研，产品开发和设计，过程策划和开发，采购，生产或服务提供，验证，包装和储存，销售和分发，安装和投入运行，技术支持和售后服务，使用寿命结束时的处置或再生利用等。或者说机械制造工程就是在对市场进行调研的基础上，开发机械产品，设计机械产品与制造工艺，按照设计生产出机械产品实体，进行市场营销，使机械产品在质量、数量、价格和交货期等方面满足用户的需求或符合对用户的市场协议，同时获得企业满意的经济效益的全部工程活动。可见机械产品的设计、生产和营销是机械制造工程的主要职能。

二、机械制造生产过程及构成

1. 机械制造生产过程

作为系统转换的一部分，机械制造生产过程通过各种生产手段对加工对象的形状、尺寸和性能进行改变。制造工业的生产过程有两种基本类型：流程式生产过程和加工装配式生产过程。在流程式生产过程中，原材料投入生产线后顺序而下，经过连续的作业和一定的程序后即产出产品，如钢铁冶炼。在加工装配式生产过程中，一般是先出原材料生产毛坯，制造零件，然后装配成组件、部件、总成，最后总装配为一个完整的最终产品。

机械制造生产过程还包括运输和储存等场所和时间的转换。运输是按照工艺流程将工件在工作地之间移动。储存是为适应工艺流程和生产经营而对原材料、半成品及产成品的储备库存。运输和储存都是机械制造生产过程不可缺少的组成部分。

机械制造企业的生产制造和经营活动的全过程需要进行有效的管理。管理是为了实现企业的经营目标、适应市场需求和提高企业经济效益。管理承担着对生产经营全过程的计划、指挥、组织、协调和控制。广义地讲，机械制造企业管理涉及整个机械制造工程的方方面面。我国国有大中型机械制造企业的管理一般包括以下内容：计划管理、销售管理、组织人事管理、生产管理、产品开发与技术管理、质量管理、劳动工资管理、教育培训管理、设备基建管理、物资管理、财务成本管理、安全技术与环境保护管理、后勤保障管理、思想政治工作等。狭义的机械制造生产过程管理则只涉及生产计划、生产过程的组织、劳动定额与物资定额、工艺技术、设备工具、质量、安全生产与环境保护、成本与经济核算及生产服务等生产过程的管理。

2. 机械制造生产过程的构成

机械制造生产过程是机械制造企业的基本产品和辅助产品生产过程的总和，包括产品的直接生产过程和与产品生产过程有关的其他生产活动和过程。一个较为完整的机械制造生产

过程由以下几部分组成。

(1) 生产技术准备过程 生产技术准备过程是指机械产品在投入生产前所进行的各种技术准备工作。例如产品开发、产品设计、工艺设计、工艺装备的设计制造、标准化、材料定额和工时定额、劳动组织、厂房与设备的配置等。

(2) 基本生产过程 基本生产过程是指机械制造企业生产市场销售的产品即基本产品的过程。机械制造企业的基本生产过程一般包括下料、铸造、锻压、切削加工、热处理、表面处理、电化学处理、铆焊、钳工、装配、油漆等工艺与作业。在生产过程中, 这些直接使用各种工艺作业方法生产零部件和产品的过程称为工艺过程。

(3) 辅助生产过程 辅助生产过程是为保证基本生产过程的正常进行所必需的各种辅助产品的生产过程。例如一些大型机械制造企业自己进行各种动力(压缩空气、蒸汽、供水、发电等)的生产, 自己制造专用的设备、工具、夹具、量具、模具、刃具, 自己进行厂房建设和维修、设备的安装和维修及备件生产等。

(4) 生产服务过程 生产服务过程是为基本生产过程和辅助生产过程所做的各种生产服务活动, 例如物资供应、半成品、成品运输、包装、储存、检验、试验、发送、售后服务等。

(5) 附属生产过程 附属生产过程是指机械制造企业在基本生产过程和辅助生产过程以外为进行综合利用和提高效益而进行的其他生产过程, 例如铁屑的烧结回用等。

在构成机械制造生产过程的各组成部分中, 生产技术准备过程是整个生产过程是否有效率和有效益的前提, 而基本生产过程则是其核心, 其他过程都应服从于和服务于生产技术准备过程和基本生产过程, 使整个生产过程成为企业系统中的一个高效率和高效益的子系统。

当然, 并非每一个机械制造企业的生产过程都必须完整地包括以上所有的过程。这与产品的复杂程度、企业生产规模和能力、装备的技术水平与工艺方法、专业化生产及社会化协作的能力及水平、企业经营管理水平以及整个经济市场化的水平等都有关系。

三、机械制造企业生产过程组织

生产过程是在一定的时间、一定的空间进行的。机械制造生产过程的组织包括生产过程的空间组织和生产过程的时间组织。生产过程的空间组织指工厂的总体规划布置、生产单位(分厂、车间、工段、班组)的设置、机器设备设施的配套和布置等, 其目的是形成一个相互分工和密切协作, 保证生产过程高质高效进行的空间布局。生产过程的时间组织指生产对象按照工艺规程在生产过程的空间组织中运行, 在时间上相互配合和衔接, 其目的是保证生产过程的连续性和节奏性, 提高设备利用率, 缩短产品的生产周期, 保证对用户的交货期。

1. 机械制造企业生产单位组成

实现机械制造生产过程需要有一定的组织机构, 将机械制造企业内的各种生产要素有机地组合, 以实现一定的功能, 这就是企业的生产单位。

机械制造企业生产单位按其在学习过程中的职能和作用可分为基本生产部门、辅助生产部门、生产服务部门、生产技术准备部门和附属生产部门。

(1) 基本生产部门 指直接进行基本产品生产、实现基本生产过程的生产单位。一般机械制造企业的基本生产部门有以下车间:

- ① 准备车间: 如备料、铸造、锻压等车间或工段。
- ② 加工车间: 如机械加工、冲压、铆焊、热处理、电镀等车间或工段。
- ③ 装配车间: 如部件装配车间、总装装配车间或工段等。

(2) 辅助生产部门 指为基本生产过程提供产品和服务、实现辅助生产过程的生产单位。

机械制造企业的辅助生产部门有以下车间：

① 辅助车间：如机修、电修、工具、模具、模型、建筑等车间。

② 动力车间：如供电、供水、供压缩空气、供氧气等车间或部门。

(3) 生产服务部门 指为基本生产过程和辅助生产过程服务的生产单位。

① 运输部门。

② 仓库：如材料库、半成品库、成品库、工具库、设备配件库等。

③ 试验、计量与检测部门：如中心试验室，中心计量室、试验站、技术检查站等。

(4) 生产技术准备部门 生产技术准备部门是为基本生产过程和辅助生产过程提供产品设计、工艺设计、工艺装备设计、非标准设备设计、非标准刀具设计、装配说明书、试验大纲、检验规范和质量保证体系等技术文件，进行新产品的开发、试制和鉴定，进行新工艺的开发，规划厂房、设备、工夹量具及制订各种消耗定额的部门。一般包括开发、设计、工艺、工具、物资、劳动工资等部门和试制车间。

(5) 附属生产部门 指生产企业附属产品的生产单位，许多时候，这些生产单位都依附于或包容于企业基本生产单位之中，但也有独立出来的，它们的构成可参照基本生产单位，但要简单得多。

在机械制造生产过程中，各个生产单位按照一定的权责分工协作，形成有机的系统，保证实现机械制造生产过程的合理要求。实际上机械制造企业的生产单位组成需要从实际出发，考虑企业的产品方向、生产的专业化和协作水平、生产规模、产品结构特点、设备和工艺特点、工厂总体布置以及企业的经营环境等，动态设置和调整，如综合利用车间等。

2. 机械制造企业厂区布置

厂区的布置是否合理将直接影响到整个生产过程的效率和效益。机械制造企业厂区布置是指在原材料的接收到成品的制造完成以及销售发运的全部过程中，按照合理组织生产过程对人员、设备、物料所需要的空间的要求，在工厂的全部平面和空间内，对工厂的生产车间、辅助设施、运输线路、服务设施以及办公室等进行总体分配和布置，使其有机组合，保证生产过程高效地进行，并获得最大的经济效益。

3. 生产过程的时间组织

机械产品的生产过程有简单生产过程和复杂生产过程之分。简单生产过程指单一零件的加工过程或单一部件的装配过程，它由顺次密切联系的上下工序组成，是企业整个产品生产过程的一部分。在由许多个零部件装配而成的机械产品生产过程中，这些零部件各自在不同的工作地平行或顺序地生产和装配，最后再全部集中总装配为一个完整的机械产品，这就是复杂生产过程。一般机械产品的生产过程就是由若干简单生产过程集合而成的复杂生产过程。产品或零部件从原材料投入生产，到制成成品及检验合格入库的整个生产过程所经过的日历时间，就是产品或零部件的生产周期。实际生产过程所消耗的时间不仅有各工序的加工时间，产生的工艺时间，还有工序之间的运输、检验、入库保险期以及非生产性活动等所造成的工序间中断时间。

在一般机械制造企业中，产品和零部件都是按一定的批量生产的。在组织批量生产时，这些零件在工序间可以有着不同的移动方式，这些不同的移动方式就形成了生产过程的时间组织。一批零件在工序间的移动方式不同，生产过程的时间组织不同，实现的生产周期就不同。

四、机械制造生产过程中的成本费用

机械产品的生产经营过程同时也是生产和经营管理的耗费过程，包括各种人力资源和物质资源的耗费。这些耗费的货币表现形态就是生产和经营管理的费用。它们由以下要素组成。

- ① 外购材料：指为生产机械产品，直接和间接耗用的半成品、辅助材料、包装物、修理用备件和低值易耗品等。
- ② 外购燃料：指耗用的一切从外部购进的各种燃料。
- ③ 外购动力：指耗用的一切从外部购进的各种动力。
- ④ 工资：指企业全体员工的工资。
- ⑤ 职工福利费：应按规定提取。
- ⑥ 折旧费：指厂房、设备等长期使用的固定资产因折旧按年度分摊计提的费用。
- ⑦ 利息费用：指企业为筹集资金所发生的利息费用。
- ⑧ 税金：指企业依法向国家缴纳的各种税金。
- ⑨ 其他费用。

由以上要素构成的机械制造企业的生产和经营管理费用又可以归结为：用于机械产品生产的费用，称为生产费用；用于机械产品销售的费用，称为销售费用；用于组织和管理生产和经营活动的费用，称为管理费用；用于筹集生产和经营资金的费用，称为财务费用。机械制造企业为生产一定种类、一定数量的产品所支出的各种生产费用之和，就是这些产品的生产成本，也称产品的制造成本。销售费用、管理费用、财务费用又总称为经营管理费用。制造成本和经营管理费用就是机械制造企业的生产经营管理费用。此外，机械制造企业还会发生各种非生产经营管理的费用。企业的全部生产经营管理费用和非生产经营管理费用就构成了机械制造企业的成本费用。

生产经营的最终目的是要销售产品以获取利润，销售产品和提供服务实现一定的收入，收入减去成本费用和上缴的税费后的余额就是利润。利润是企业一定期间的生产和经营成果。企业有利润就是盈利，没有利润就会出现亏损。显然，要提高机械制造企业的经济效益，增加利润，就要在不断地增加收入的同时，降低成本费用。在这方面，对于机械制造生产过程而言，提高产品质量、降低各种人力资源和物质资源的消耗能起到最为直接的作用。

第二节 课程的性质、任务、内容和要求

一、机械制造工程实践的性质和任务

机械制造工程实践是一门实践性很强的技术基础课，是高等工科院校、高职院校学生学习“工程材料及机械制造基础”与其他机械制造系列课程必不可少的先修课程，也是学生建立机械制造生产过程的观念、获得机械制造基本知识的基础课程。

机械制造工程实践的重点是以实践教学为核心，以学生进行独立的实践操作为前提，在实践过程中将基本工艺理论、基本工艺知识和基本工艺实践有机地结合起来，注重提高学生的工艺实践技能。

机械制造工程实践的任务包括以下几方面。

- ① 要求学生了解现代机械制造的一般过程和基本知识；熟悉零件的常用加工方法及其所用的主要设备和工具；了解新工艺、新技术、新材料在现代机械制造中的应用。
- ② 对简单零件具有初步选择加工方式和进行工艺分析的能力；在主要工种方面应能独

立完成简单零件的加工制造和在规定工艺实验中的实践能力。

③ 充分利用实习工厂良好实习条件，培养学生的市场意识、质量意识、安全意识、群体意识、环境意识、社会意识、经济意识、管理意识、创新意识及法律意识等综合工程素质。

④ 初步培养学生的创新意识和创新思维能力。

二、机械制造工程实践的基本要求

随着教学改革的深入，机械制造工程实践的教学应该遵循教学和科学发展规律，在保证教学内容完整性的前提下，要注意处理好传统内容和现代内容的关系以及传授知识和培养能力的关系。

因此，机械制造工程实践要以实践教学为主，重视学生实践技能的培养。在一定的理论指导下，通过技能的训练、金工实验、金工工艺实践、金工工艺分析等将多方面知识融为一体。强调综合性和整体性的实践教学，在实习过程中注意调动学生学习的积极性和培养他们的创新能力，并达到获取工艺实践知识和提高实践技能的目的。

三、机械制造工程实践的主要内容

日常生活中所有的机器或设备，其工业生产过程都可归纳为：毛坯制造—零件加工—装配和调试。

根据制造过程的特点，机械制造工程实践的主要内容如下。

(1) 毛坯制造 常用的毛坯制造方法有：铸造，锻造与冲压，焊接与胶接。

(2) 零件加工 零件加工是将毛坯的加工余量切削掉，以获得合格的尺寸和表面质量的过程。传统的加工方法有车、铣、刨、磨、钻、镗等。随着科技的进步，特种加工方法愈来愈占据重要的地位。特种加工方法有电火花加工、电解加工、激光加工、超声波加工等。

(3) 装配和调试 加工合格的零件，需要钳工按一定的顺序组合、连接、固定起来成为一台完整的设备。此外，装配好的机器还要经过试运行以测试其性能。只有整机调试合格后，方可装箱出厂。

第二章 机械工程材料

凡与工程有关的材料均可称为工程材料，工程材料按其性能特点可分为结构材料和功能材料。结构材料通常以硬度、强度、塑性、冲击韧性等力学性能为主，兼有一定的物理、化学性能。而功能材料是以光、电、声、磁、热等特殊的物理、化学性能为主的功能和效应材料。

工程材料种类繁多，用途广泛，工程上通常按化学分类法对工程材料进行分类，可分为金属材料、非金属材料、复合材料等，如图 2-1 所示。

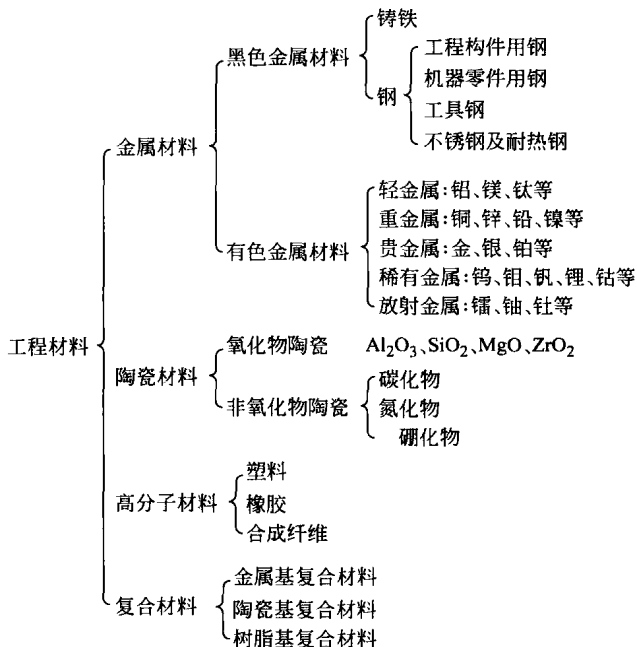


图 2-1 常用机械工程材料

金属材料是目前应用最广泛的工程材料。它包括各种纯金属及其合金。在工业领域，金属材料被分为两类：一类是黑色金属，主要指应用最广的钢铁；另一类是有色金属，指除黑色金属之外的所有金属及其合金。

非金属材料是近年来发展非常迅速的工程材料，因其具有金属材料无法具备的某些性能（如电绝缘性、耐腐蚀性等），在工业生产中已成为不可替代的重要材料，如高分子材料和工业陶瓷。

复合材料是指将两种或两种以上材料组合在一起而构成的一种新型材料。它不仅具有各成分材料的性能，而且表现出单一材料所无法具有的特性。

第一节 金属材料的基础知识

一、金属材料的分类

金属材料分为黑色金属和有色金属。黑色金属指铁和铁与其他元素形成的铁合金，即一

般所称的钢铁材料。合金是以一种基体金属为主（其含量超过 50%），加入其他金属或非金属（合金元素），经熔炼、烧结或其他工艺方法而冶炼成的金属材料。有色金属指除铁与铁合金以外的各种金属及其合金。此外还有粉末冶金材料、烧结材料等。

由于金属材料具有制造机械产品及零件所需要的各种性能，容易生产和加工，所以成为制造机械产品的主要材料。合金材料可以通过调节其不同的成分和进行不同的加工处理获得比纯金属具有更多样化的和更好的综合性能，是机械工程中用途最广泛、用量最大的金属材料。钢铁材料是最常用和最廉价的金属材料，其他常用的金属材料有铝、铜及其合金。

1. 钢铁材料

以铁为基体金属，以碳为主要的合金元素形成的合金材料就是碳素钢或铸铁（灰口铸铁）。从理论上讲，钢中的含碳量为 0.02%~2.11%，低于 0.02% 为纯铁，高于 2.11% 就是铸铁。此外，在一般的钢铁材料中，还都会含有很少量的硅、锰、硫、磷，它们是因为钢铁冶炼而以杂质的形态存在于其中的。为了改善钢铁材料的性能再有意识地加入其他合金元素则成为合金钢或合金铸铁。

钢的种类繁多，可按不同的方法分类。如可按化学成分将钢分为碳素钢和合金钢两大类，进而还可按化学成分分为含碳量低于 0.25% 的低碳钢，0.25%~0.6% 的中碳钢，高于 0.6% 的高碳钢。按在机械制造工程中的用途可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢三大类。按钢中所含 S、P 等有害杂质多少作为质量标准，可分为普通钢、优质钢和高级优质钢三大类等。钢的分类如图 2-2 所示。

铸铁可按其所含的碳的形态不同来分类。例如，碳以石墨态存在其中的有灰口铸铁（片状石墨）、球墨铸铁（球状石墨）、蠕墨铸铁（蠕虫状石墨）、可锻铸铁（团絮状石墨），碳以化合物（ Fe_3C ）态存在其中的为白口铸铁。石墨态铸铁具有较好的力学性能、减振性、减摩性、低缺口敏感性等使用性能，良好的铸造性能、切削加工性能等工艺性能，生产工艺简单，成本低，因此，成为机械制造工程中用途最广、用量最大的金属材料。但是铸铁中石墨碳的存在，特别是灰口铸铁中的片状石墨碳的存在严重地降低了铸铁的抗拉强度，尽管对抗压强度的影响不大，也使铸铁的综合力学性能远不如钢好。

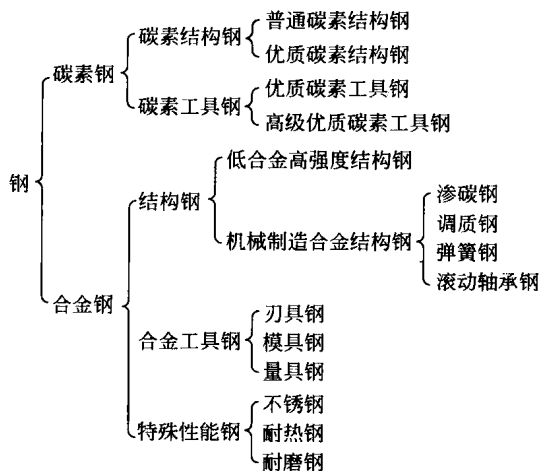


图 2-2 钢的分类

性能、减振性、减摩性、低缺口敏感性等使用性能，良好的铸造性能、切削加工性能等工艺性能，生产工艺简单，成本低，因此，成为机械制造工程中用途最广、用量最大的金属材料。但是铸铁中石墨碳的存在，特别是灰口铸铁中的片状石墨碳的存在严重地降低了铸铁的抗拉强度，尽管对抗压强度的影响不大，也使铸铁的综合力学性能远不如钢好。

2. 有色金属

机械工程中常用的有色金属有铜及其合金、铝及其合金、滑动轴承合金等。

工业纯铜又称紫铜，以其良好的导电性、导热性和抗大气腐蚀性而被广泛地应用于导电、导热的机械产品和零部件中。铜合金主要有以锌为主要合金元素的黄铜、以镍为主要合金元素的白铜和以锌镍以外的其他元素为合金元素的青铜。铜合金一般用作除力学性能外对物理性能或化学性能尚有一定要求的机械产品和零部件。

工业纯铝也有较好的导电性、导热性和抗大气腐蚀性，而密度仅为铜的 1/3，价格又远较铜低廉，在很多场合都可代替铜。铝合金因加入的合金元素不同而表现出不同的使用性能和工艺性能，按其工艺性能可分为形变铝合金和铸造铝合金。形变铝合金塑性好，适于锻压

加工,力学性能较高。铸造铝合金铸造性好,用于生产铝合金铸件。铝及其合金还广泛地应用于电器、航空航天器和运输车辆。

滑动轴承合金主要用作制造滑动轴承内衬。它既可以是在软的金属基体上均匀分布着硬的金属化合物质点,如锡基轴承合金、铅基轴承合金;也可以是在硬的金属基体上均匀分布着软的质点,如铜基轴承合金、铝基轴承合金。

3. 粉末冶金与功能材料

粉末冶金是用金属或金属化合物粉末作原料,经压制成型、烧结等工艺直接制造机械零件。它是一种不需熔炼的冶金工艺。机械制造工程中常用的粉末冶金材料有金属陶瓷硬质合金和钢结硬质合金两大类。金属陶瓷硬质合金如钨钴类、钨钴钛类等,由金属碳化物粉末(如 WC、TiC)和黏结剂(如 Co)混合制成,一般只用作刀具。钢结硬质合金是金属碳化物粉末(如 WC、TiC)和由合金钢粉末为黏结剂制成,可作各种机械零件和刀具。

功能材料则是指各种具有特殊的物理化学性能,如电、磁、声、光、热和特殊的理化效应(如形状记忆效应)的材料。机械制造工程中常用的功能材料,有磁性材料、电阻材料、热膨胀材料、超导材料、非晶态材料、形状记忆合金等。

二、金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能两大类。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的特性,如物理性能(如密度、熔点、导电性、导热性、磁性等)、化学性能(如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等)、力学性能等。工艺性能是指材料在加工制造过程中表现出来的特性。

1. 金属材料的力学性能

机械零件在工作过程中都要承受各种外力的作用。力学性能是指材料在受到外力的作用时所表现出来的特性。衡量力学性能的指标主要有弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性等。

(1) 弹性和塑性 金属材料承受外力作用时产生变形,在去除外力后能恢复原来形状的性能,叫做弹性。该状态下的变形为弹性变形。金属材料在承受外力作用,产生永久变形而不破坏的性能,叫做塑性。该状态下的变形为塑性变形。常用的塑性指标是伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 。其数值通过金属拉伸试验测定。伸长率和断面收缩率的数值越大,材料的塑性越好。

(2) 强度 金属材料在承受外力作用时,抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。衡量强度的指标主要是屈服强度和抗拉强度。屈服强度指材料产生塑性变形初期时的最低应力值,用 σ_s 表示,单位为 MPa。抗拉强度指材料在被拉断前所承受的最大应力值,用 σ_b 表示,单位为 MPa。屈服强度和抗拉强度是机械零件设计时的重要依据参数。

(3) 硬度 金属材料抵抗硬物压入其表面的能力称为硬度。衡量硬度的指标主要有布氏硬度和洛氏硬度两种,它们均由专用仪器测量获得。

① 布氏硬度 布氏硬度试验是用一定直径的淬火钢球或硬质合金球作为压头,以规定的压力将其压入被测金属材料的表面,保持一段时间后卸载,然后测量金属表面的压痕直径,如图 2-3 所示。实际测量中,用读数显微镜测出压痕直径,再根据压痕直径在硬度换算表中查出布氏硬度值。依据 GB 231—84《金属布氏硬度试验方法》的规定,布氏硬度用 HB 表示。通过淬火钢球压头所测出的硬度数值用 HBS 表示;通过硬质合金压头所测出的硬度数值用 HBW 表示。表示方法如 180HBS、62HBW,前面的数字代表硬度值。

用布氏硬度试验测材料的硬度值，其测试数据比较准确，但不能测太薄的试样和硬度较高的材料。

图 2-4 为 HB-3000 布氏硬度计。测定硬度时其基本操作和程序如下。

- 将试样平稳放在工作台上，转动手轮使工作台徐徐上升使试样与压头接触（应注意压头固定是否可靠），到手轮打滑为止，此时初载荷已加上。
- 按下加载按钮，加荷指示灯亮，自动加载并卸载指示灯灭。
- 逆时针转动手轮，使工作台下落，取下试样。
- 用读数放大镜测量压痕直径，测得压痕直径后从表中查出布氏硬度值。

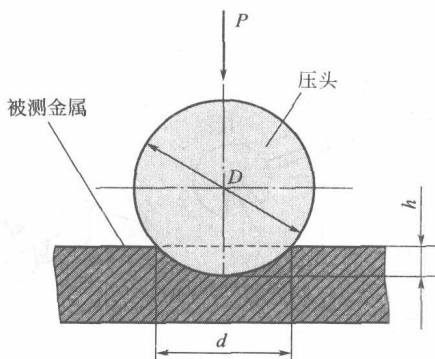


图 2-3 布氏硬度试验原理图

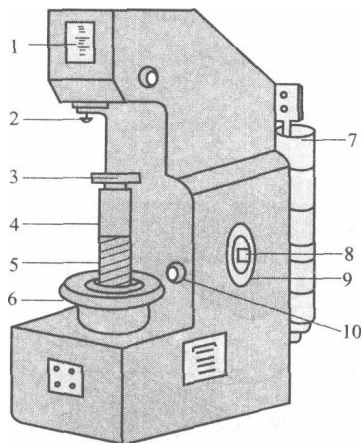


图 2-4 HB-3000 布氏硬度计

- 1-指示灯；2-压头；3-工作台；4-立柱；
5-丝杠；6-手轮；7-载荷砝码；
8-压紧螺钉；9-时间定位器；10-加载按钮

② 洛氏硬度 洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压入被测试样表面，然后根据压痕的深度来确定它的硬度值。一般地，洛氏硬度数值从硬度计的刻度盘上直接读取。压痕愈深，材料愈软，硬度数值愈低；反之，硬度数值愈高。国家标准规定，洛氏硬度用 HR 表示。测试时依据压头和压力等不同，分别有 HRA、HRB、HRC 三种表示方法，其中 HRC 应用最多。一般淬火钢件或工具都用 HRC 表示，如钳工用锉刀的硬度为 62~67HRC。

洛氏硬度测定方法以 HRC 测试为例介绍。如图 2-5 所示，采用顶角为 120° 金刚石圆锥压头，总载荷为 1500N。测试时先加预载荷 100N，压头从起始位置 0-0 到 1-1 位置，压入试件深度为 h_1 ，后加总载荷 1500N（实为主载荷 1400N 加上预载荷 100N），压头位置为 2-2，压入深度为 h_2 ，停留数秒后，将主载荷 1400N 卸除，保留预载荷 100N。由于被测试件弹性变形恢复，压头略有提高，位置为 3-3，实际压入试件深度为 h_3 ，因此在主载荷作用下，压头压入试件的深度 $h = h_3 - h_1$ 。用深度值来评定材料的软硬程度。为了便于从硬度计表盘上直接读出硬度值，一是规定表盘上每一小格相当于 0.002mm 压深，二是将 HRC 值用 $HRC = K - h/0.002$ 的公式表示，从而符合人们的习惯概念，即材料越硬，硬度值（HRC）越高。

金属材料硬度数值的高低一般除通过硬度计测试以外，实际生产现场常用锉刀锉削金属工件的办法来判别。方法是：选用新的细锉刀，如果稍微用力即可锉削时，表明工件硬度为 30~40HRC；当加大用力才可锉削时，表明工件硬度为 50~55HRC；当继续加大用力，锉

削困难但仍能锉削一些时,表明工件硬度为 55~60HRC;当锉削工件时锉刀打滑或锉刀上有划痕,表明工件材料的硬度高于锉刀的硬度,在 63HRC 以上。

(4) 冲击韧度 大多数零件在工作状态时,常常受到各种各样冲击载荷的作用,如内燃机的连杆、冲床的冲头等。将金属材料承受冲击载荷作用抵抗断裂破坏的能力称为冲击韧度。

将试样放在试验机两支座上,把质量为 m 的摆锤抬到高 H ,使摆锤具有位能为 mHg 。摆锤落下冲断试样后升至 h 高度,具有位能为 mhg ,故摆锤冲断试样推动的位能为 $mHg - mhg$,这就是试样变形和断裂所消耗的功,称为冲击吸收功 A_K ,即 $A_K = mg(H - h)$ 。

用试样的断口处截面积 S_N (cm^2) 去除 A_K (J) 即得到冲击韧度,用 a_K 表示,单位为 J/cm^2 ,即 $a_K = A_K/S_N$

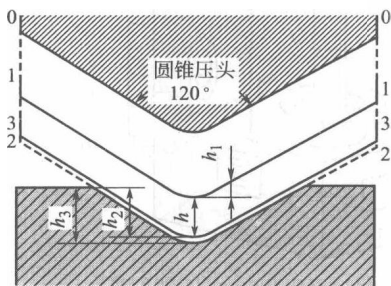


图 2-5 洛氏硬度测定原理示意

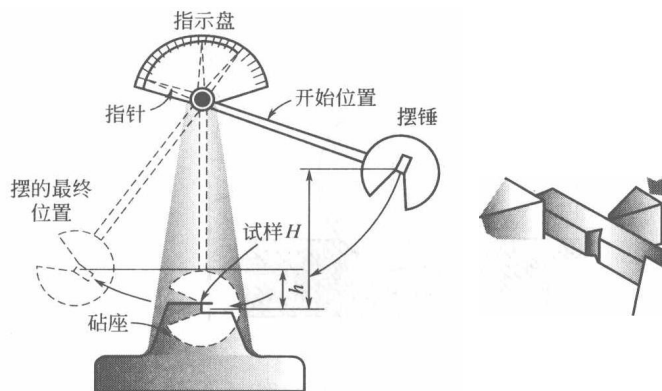


图 2-6 夏氏冲击试验示意

2. 金属材料的工艺性能

金属材料要通过各种各样的加工方法被制造成零件或产品,材料对各种加工方法的适应性称为材料的工艺性能。主要包括以下几个方面的内容。

(1) 铸造性能 指金属材料通过铸造方法制成优质铸件的难易程度。其影响因素主要包括材料的流动性和收缩性。材料的流动性越高,收缩性越小,则铸造性能越好。

(2) 锻压性能 指金属材料在锻压加工过程中获得优良锻压件的难易程度。与金属材料的塑性及变形抗力有关。材料的塑性愈高,变形抗力愈小,则锻压性能愈好。

(3) 焊接性能 指金属材料在一定焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。其影响因素包括材料的成分、焊接方法、工艺条件等。

(4) 切削加工性能 指用刀具切削加工金属材料的难易程度。材料切削加工性能的好坏与其物理性能、力学性能有关。对于一般钢材,硬度在 200HBS 左右即具有良好的切削加工性能。

(5) 热处理工艺性能 指金属材料能通过热处理方法改变其工艺性能和使用性能的特性。热处理只改变金属材料的组织和性能,而不改变其形状和大小,热处理工艺有多种方法,如退火、正火、回火、调质处理等。

3. 金属材料的物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能主要有密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、耐热性、耐腐蚀性等。根据机械零件的用途不同,对材料的物理、化学性能要求也不同。金属材料的物理、化学性能对制造工艺也有一定影响。

三、常用钢铁材料的牌号及用途

1. 碳素钢

碳素钢的牌号是以其含碳量为基础确定的。

(1) 碳素结构钢 碳素结构钢的牌号由力学性能指标中的“屈服点”的汉语拼音的第一个字母“Q”、屈服点的数值(MPa)、质量等级符号(A、B、C、D——从左至右,质量依次提高)及脱氧方法符号(F、b、Z、TZ——从左至右依次为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢)四部分顺序组成。如Q235AF即为屈服点为235MPa、质量A级的沸腾钢。碳素结构钢一般以热轧空冷的各种型钢、薄板状态供应,主要用作冲压件、焊接结构件和对力学性能要求不高的机械零件。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的牌号用钢中碳量的平均质量分数(含碳量)的万倍的两位数字表示。例如45钢就是平均含碳量0.45%的优质碳素结构钢。在制造机械零件常用的优质碳素结构钢中,15、20等含碳量较低的优质碳素结构钢具有较好的塑性,其强度、硬度都较低,常用作冲压件、焊接件和要求不高的渗碳件;40、45钢在经过调质热处理后,具有较好的综合力学性能,是制造轴、齿轮、螺栓、螺母等基础机械零件用量最多的钢铁材料之一;60、65等含碳量较高的优质碳素结构钢经淬火和随后的中温回火后,具有较高的弹性极限和屈服比(σ_s/σ_b),一般用于要求不高的小型弹簧。

(3) 碳素工具钢 碳素工具钢分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢。优质碳素工具钢其牌号顺序包括字母T及表示碳平均质量分数(含碳量)的千倍的数字。对于高级优质碳素工具钢则还要在数字后加字母A。例如T10A钢表示平均含碳量1.0%的高级优质碳素工具钢。碳素工具钢具有很高的硬度,且随着含碳量的增加,碳素工具钢的耐磨性增加,而韧性则降低。碳素工具钢适合于制造小型的手动工具,如各种钳工工具中就有用T7、T8钢制作的凿子,用T9、T10、T11钢制作的丝锥、钻头,用T12、T13钢制作的锉刀、刮刀等。

工程用铸造碳钢牌号中ZG表示铸钢,前三位数表示最小屈服强度值,后三位数表示最小抗拉强度值,如ZG 340-640。

碳素钢的分类、牌号及用途见表2-1。

表 2-1 碳素钢的分类、牌号及用途

分 类	牌 号		应用举例
	牌号举例	说明	
碳素结构钢	Q235A	Q表示屈服强度的汉字拼音字首,235表示屈服强度值,A表示质量等级	螺钉、螺母、垫圈及型钢等
优质碳素结构钢	08~25	数字表示钢的平均含碳量的万分之一,如45钢的平均含碳量为0.45%。化学元素Cr表示钢的含铬量较高	壳体、容器
	30~50 40Cr		轴、杆、齿轮、连杆
	60以上		弹簧等
碳素工具钢	T7, T7A T8, T8A	T表示碳素工具钢,数字表示该钢的平均含碳量,以0.1%为单位,A表示质量等级	冲头、錾子、手钳、锤子
	T9, T9A T10, T10A		板牙、丝锥、钻头、车刀
	T12, T12A T13, T13A		刮刀、锉刀、量具等