

国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材

工程技能训练教程

(第3版)

主 编 左时伦 陈 渝

副主编 张 罡 李 亮

清华大学出版社

国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材

工程技能训练教程

(第3版)

主 编 左时伦 陈 渝

副主编 张 罡 李 亮

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书根据教育部机械基础教学指导委员会关于工程训练课程的教学改革精神,结合多年的金工实习教学实践经验编写而成。全书共分为14章,内容包括:训练基础知识、铸造、锻压、焊接、车削、铣削、刨削、磨削、钳工、CAD/CAM基础、数控加工技术、特种加工、电气与气动控制、产品拆装与测绘,每章包括基本知识、基本技能和复习思考题三部分。

本书主要作为全国各类普通高等工科院校和中、高等职业技术学院的工程训练教材,同时也可作为企业技术培训和相关从业技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程技能训练教程/左时伦,陈渝主编. —3版. —北京:清华大学出版社,2016

(国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材)

ISBN 978-7-302-45571-4

I. ①工… II. ①左… ②陈… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 283834 号

责任编辑:赵 斌

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.25

字 数:443千字

版 次:2009年4月第1版

2016年12月第3版

印 次:2016年12月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:35.00元

产品编号:072252-01

国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材

编审委员会

顾问

傅水根

主任

梁延德 孙康宁

委员(以姓氏首字母为序)

陈君若 贾建援 李双寿 刘胜青 刘舜尧

邢忠文 严绍华 杨玉虎 张远明 朱华炳

秘书

庄红权

前言

FOREWORD

从“金工实习”发展到“工程训练”，不仅仅是教学内容和教学手段的简单拓展，更是教学理念和教学目的的时代变迁。本书正是基于以上理念，并坚持“理论够用，实践为主”的原则进行编写的。本书在内容组织上力求突出实用性、应用性、先进性和综合性，为培养学生的工程实践能力和工程综合应用能力提供有效指导。本书适合于高等工科院校机械类、近机械类专业的工程训练教学使用，对非机械类专业，可根据专业特点和后续课程需要，有针对性地选择书中内容。

本书作为普通高等工科院校和中、高等职业技术学院的工程技能训练教材，具有体系新颖、内容精练、图文并茂等特点，可读性极强。经过几年的试用，我们也在不断地总结和提高，力求在内容组织上突出实用性、应用性、先进性和综合性，各工种操作技能讲解简明扼要，示例结合训练内容和工程实际，学以致用。

本次修订主要是根据工程训练发展的需要，增加了 CAD/CAM 基础；把数控车削和数控铣削两章整合为数控加工技术；对特种加工一章中线切割和激光雕刻的内容进行了更新和补充，并增加了 3D 打印技术等内容；还将原产品分析的内容进行了调整。通过本书的学习，能培养学生的工程实践能力和工程综合应用能力，为其后继课程的学习和综合创新训练以及今后的工作奠定良好的基础。

本次修订由左时伦、陈渝担任主编，张罡、李亮担任副主编，参加编写的人员还有廖智勇、王锋、谭逢友、杜晓林、周雄、苏卫东等。在编写过程中，得到重庆科技学院工程训练中心领导、教研室同仁及实习指导老师们的的大力支持和热忱帮助，特此表示感谢！

本书在编写过程中参考和引用了相关手册、教材、学术杂志等文献资料上的有关内容，借鉴了许多同行专家的教学成果，在此一并表示真诚的谢意。

本书内容多、范围广、技术新，涉及了传统和现代制造技术知识，由于编者水平所限，书中难免有许多错误和不足，恳请读者指正。

编 者
2016 年 6 月



CONTENTS

1 训练基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 工程材料	2
1.2.1 工程材料的分类及应用	2
1.2.2 金属材料性能	3
1.2.3 常用钢铁材料简介	5
1.2.4 有色金属及其合金	7
1.3 切削加工基础	7
1.3.1 切削加工	7
1.3.2 切削要素	8
1.3.3 刀具材料	9
1.3.4 刀具的几何角度	10
1.3.5 零件切削加工	11
1.4 加工质量及检测量具	13
1.4.1 零件制造质量	13
1.4.2 表面质量	14
1.4.3 检测量具	15
1.5 安全总则	19
复习思考题	20
2 铸造	21
2.1 基本知识	21
2.1.1 铸造概述	21
2.1.2 造型与制芯	22
2.1.3 合金的熔炼与浇注	29
2.1.4 铸件常见缺陷	32
2.2 基本技能	33
2.2.1 铸造安全技术	33



2.2.2 铸造操作训练	34
复习思考题	36
3 锻压	38
3.1 基本知识	38
3.1.1 锻压概述	38
3.1.2 锻造设备与工艺	38
3.1.3 自由锻造和模锻	43
3.1.4 板料冲压	46
3.2 基本技能	48
3.2.1 锻压安全技术	48
3.2.2 锻压操作训练	49
复习思考题	52
4 焊接	53
4.1 基本知识	53
4.1.1 焊接概述	53
4.1.2 手工电弧焊	54
4.1.3 气焊与气割	61
4.2 基本技能	65
4.2.1 焊接安全技术	65
4.2.2 焊接操作训练	66
复习思考题	70
5 车削	71
5.1 基本知识	71
5.1.1 车削概述	71
5.1.2 普通车床	71
5.1.3 车刀	76
5.1.4 车削工艺	77
5.2 基本技能	83
5.2.1 车削安全技术	83
5.2.2 车削操作训练	84
复习思考题	88
6 铣削	89
6.1 基本知识	89
6.1.1 铣削概述	89
6.1.2 铣床	90

6.1.3 铣刀	94
6.1.4 铣削工艺	98
6.2 基本技能	102
6.2.1 铣削安全技术	102
6.2.2 铣削操作训练	103
复习思考题	106
7 刨削	107
7.1 基本知识	107
7.1.1 刨削概述	107
7.1.2 刨床	108
7.1.3 刨刀	112
7.2 基本技能	113
7.2.1 刨削安全技术	113
7.2.2 刨削操作训练	114
复习思考题	117
8 磨削	118
8.1 基本知识	118
8.1.1 磨削概述	118
8.1.2 磨床	118
8.1.3 砂轮	123
8.1.4 磨削工艺	125
8.2 基本技能	127
8.2.1 磨削安全技术	127
8.2.2 磨削操作训练	128
复习思考题	129
9 钳工	130
9.1 基本知识	130
9.1.1 钳工概述	130
9.1.2 划线、锯削和锉削	132
9.1.3 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔	140
9.1.4 攻螺纹和套螺纹及刮削	144
9.2 基本技能	148
9.2.1 钳工安全技术	148
9.2.2 钳工操作训练	148
复习思考题	153



10 CAD/CAM 基础	154
10.1 基本知识	154
10.1.1 CAD/CAM 技术概述	154
10.1.2 CAD/CAM 三维造型技术	159
10.2 基本技能	164
10.2.1 三维造型方法训练	164
10.2.2 自动编程方法训练	170
复习思考题	177
11 数控加工技术	178
11.1 基本知识	178
11.1.1 数控加工基础	178
11.1.2 数控车削基础	185
11.1.3 数控铣削基础	193
11.2 基本技能	199
11.2.1 数控加工安全技术	199
11.2.2 数控加工实作训练	200
复习思考题	204
12 特种加工	205
12.1 线切割	205
12.1.1 线切割加工	205
12.1.2 线切割安全技术与基本操作	212
12.1.3 线切割加工操作训练	213
12.2 激光雕刻	216
12.2.1 激光雕刻及内雕加工	216
12.2.2 激光安全技术与基本操作	221
12.2.3 激光雕刻操作训练	223
12.3 3D 打印技术	225
12.3.1 3D 打印技术概述	225
12.3.2 3D 打印技术应用领域	227
12.3.3 3D 打印安全技术与基本操作	228
12.3.4 3D 打印操作训练	229
复习思考题	231
13 电气与气动控制	232
13.1 基本知识	232
13.1.1 常用电工工具	232

13.1.2	常用低压电器	233
13.1.3	电机与控制	242
13.1.4	气动控制技术	245
13.2	基本技能	253
13.2.1	电气与气动控制安全操作规程	253
13.2.2	操作训练	258
	复习思考题	263
14	产品拆装与测绘	264
14.1	产品拆装工艺分析	264
14.1.1	产品拆卸的基本知识	264
14.1.2	装配的基本知识	268
14.1.3	摩托车拆装训练	272
14.2	零件的测绘方法	273
14.2.1	零件测绘的方法和步骤	273
14.2.2	零件测绘的种类	275
14.2.3	测绘中零件尺寸的圆整与协调	275
14.2.4	测绘中零件技术要求的确定	277
14.2.5	零件尺寸的测量方法	277
14.2.6	零件测绘时的注意事项	279
	复习思考题	279
	参考文献	280

训练基础知识

1.1 概 述

机械制造生产过程是一个由资源向产品或零件的转变过程,是将大量设备、材料、人力和加工过程有序结合的生产系统。机械制造生产过程可分为产品规划阶段、方案设计阶段、技术设计阶段、施工设计阶段及加工制造阶段。其中,机械加工制造阶段尤为重要,它主要涉及的知识如图 1-1 所示。

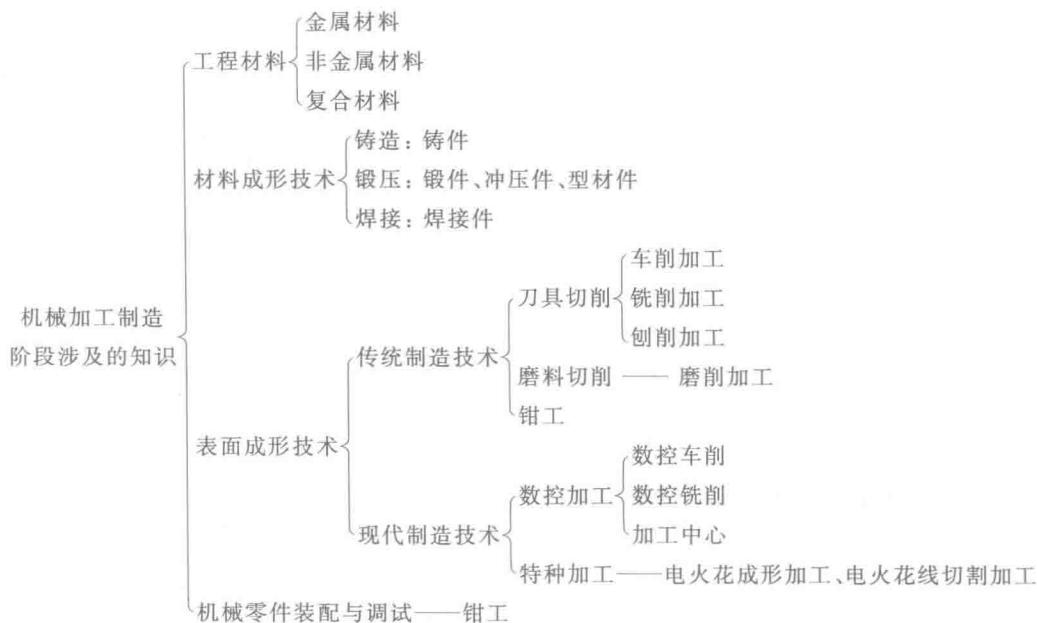


图 1-1 机械加工制造阶段涉及的知识

各种机器设备都是由其相应的机器零件组装而成的,例如冶金轧钢机、石油钻井机、机床、汽车、飞机、轮船等。只有制造出符合要求的零件,才能装配出合格的机器设备。而零件可以是将原材料经过铸造、锻造、冲压、焊接等方法直接得来;或通过其制成毛坯,再由毛坯经过切削加工而获得;也可以直接将各种型材经过切削加工而获得。有的零件则需要在制造过程中插入不同的热处理工艺才能达到设计要求。

1. 基本制造加工

(1) 产品设计,包括总体设计、零部件设计、选用材料、确定结构及尺寸、编制技术要求和绘制图纸等。

(2) 工艺准备,包括决定生产方案、制定工艺文件和选择工艺装备等。

(3) 毛坯生产,包括铸件、锻件、冲压件、焊接件、型材和非金属材料成形件等的生产。

(4) 切削加工,指车削、铣削、刨削、磨削、镗削等进行的粗加工、半精加工和精加工。

(5) 装配与调试,包括组件装配、部件装配、产品总装和调试。

(6) 装箱出厂,指产品的包装、标识、运输等。

2. 先进制造加工

有关先进制造加工的内容详见第10~12章,主要指以下几个方面:

(1) 采用物化知识的职能来代替人,从人的直接参与生产劳动变为主要负责控制生产;

(2) 采用先进工艺和高效专用设备,使工艺专业化;

(3) 机械加工技术柔性化,大量采用信息技术和计算机技术。

1.2 工程材料

材料是可以直接制成成品的物质,如木料、石料、塑料、金属等。工业生产中所使用的材料属于工程材料,主要包括金属材料、非金属材料和复合材料三大类。

金属材料是制造机械的最主要材料。金属材料以合金为主,很少使用纯金属。合金是以一种金属为主体,加入其他金属或非金属,经过熔炼、烧结或其他方法制成的具有金属特性的材料。

最常用的合金是以铁为基础的铁碳合金,有以铜或铝为基础的铜合金和铝合金。用来制造机器零件的金属或合金应具有如下性能:

(1) 优良的工艺性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、机械加工性能。

(2) 较好的使用性能,包括物理性能、化学性能、力学性能等。

1.2.1 工程材料的分类及应用

1. 工程材料的分类

机械制造工程材料主要用于制造工程构件、机械零件和工模量具等,其分类如图1-2所示。

2. 工程材料的应用

金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能,是机械制造工程中应用最广的材料,主要用于冶金、石油、机械、船舶、航天、桥梁、交通等工程结构中。

非金属材料是近年来快速发展的工程材料,其耐腐蚀性、绝缘性和成形性能优良,成本低、质量轻,广泛应用于轻工、家电、汽车等行业。

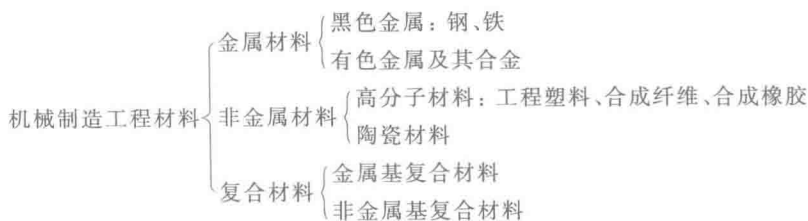


图 1-2 机械制造工程材料的分类

复合材料是将两种以上的材料组合于一体,从而获得比单一材料更为优越的综合性能,成为一种新型的高科技材料,主要应用于航空、航天、医疗、军事、汽车、体育等领域。

1.2.2 金属材料的性能

材料的性能以金属材料为例,包括力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。

1. 力学性能

力学性能是指金属材料在受外力作用时所反映出来的特性,主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等指标,是选择、使用金属材料的重要依据。

1) 强度

金属材料在外力作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力,称为强度。

按作用力性质不同,强度可分为屈服强度(屈服点)、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。在工程上常用来表示金属材料强度的指标有屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度。当载荷增大到 F_s 时,试样所承受的载荷几乎不变,而塑性变形不断增加,这种现象称为屈服现象。屈服强度为在外力作用下开始产生明显塑性变形的最小应力,用 σ_s 表示:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中, F_s ——试样产生明显塑性变形时所受的最小载荷,即拉伸曲线中 S 点所对应的外力, N;

A_0 ——试样的原始截面积, mm^2 。

(2) 抗拉强度。金属材料断裂前所承受的最大应力,又称抗拉强度。常用 σ_b 表示:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中, F_b ——指试样被拉断前所承受的最大外力,即拉伸曲线上 B 点所对应的外力, N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

屈服强度和抗拉强度在设计机械和选择、评定金属材料时有重要意义,因为金属材料不能在超过 σ_s 的条件下工作,否则会引起机件的塑性变形;金属材料也不能在超过其 σ_b 的条件下工作,否则会导致机件的破坏。

2) 塑性

金属材料在外力作用下,产生永久变形而不致引起破坏的性能,称为塑性。在外力消失

后留下来的这部分不可恢复的变形,叫做塑性变形。

金属材料的塑性通常用延伸率和断面收缩率来表示。

(1) 延伸率 δ 。延伸率是指试样被拉断后的长度相对于标准长度的伸长值,用下式计算:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, L_0 ——试样的原标距长度, mm;

L_1 ——试样拉断后的标距长度, mm。

(2) 断面收缩率 ψ 。断面收缩率是指试样被拉断后断面处横截面积的相对收缩值,用下式计算:

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, A_0 ——试样的原始截面积, mm^2 ;

A_1 ——试样断面处的最小截面积, mm^2 。

δ 和 ψ 越大,则塑性越好。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。对于 Q235 钢,其强度和塑性指标的平均值如下: $\sigma_s \approx 235 \text{ MPa}$; $\sigma_b \approx 390 \text{ MPa}$; $\delta = 20\% \sim 30\%$; $\psi \approx 60\%$ 。

3) 硬度

金属材料抵抗其他更硬的物体压入其内的能力叫做硬度。它是材料性能的一个综合的物理量,表示金属材料在单位体积内抵抗弹性变形、塑性变形或破断的能力。

金属材料的硬度可用专门仪器来测试,常用的有布氏硬度机、洛氏硬度机等。

(1) 布氏硬度(HB)。用布氏硬度机测试出来的硬度叫布氏硬度。因布氏硬度压痕面积较大,其值的代表性较全面,而且实验数据的重复性也好。但由于淬火钢球本身的变形问题,不能试验太硬的材料,一般在 450 HB 以上就不能使用。布氏硬度通常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等材料的硬度。

(2) 洛氏硬度(HR)。在洛氏硬度机上测试出来的硬度叫洛氏硬度。洛氏硬度(HR)可以用于硬度很高的材料,而且压痕很小,几乎不损伤工件表面,故在钢件热处理质量检查中应用最多。但由于洛氏硬度压痕较小,硬度代表性就差些,如果材料中有偏析或组织不均的情况,则所测硬度值的重复性也差。

4) 冲击韧度 α_k

金属材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力叫做冲击韧度,常用摆锤一次冲击试验来测定金属材料的冲击韧度,其可用下式计算:

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A_0} (\text{J} \cdot \text{mm}^{-2}) \quad (1-5)$$

式中, A_k ——折断试样所消耗的冲击功, J;

A_0 ——试样断口处的原始截面积, mm^2 。

5) 疲劳强度

金属材料在无数次重复或交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力叫做疲劳强度。

材料的疲劳强度通常在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定。无数次应力循环,对于钢材为 10^7 ,有色金属和某些超高强度钢常取 10^8 。产生疲劳破坏的原因,一般认为是由于材料有杂质、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷。

2. 物理性能

金属材料的物理性能主要有密度、熔点、热膨胀性、导电性和导热性等。

3. 化学性能

化学性能是金属材料在室温或高温时抵抗各种化学作用的能力,主要是指抵抗活泼介质的化学侵蚀能力,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

4. 工艺性能

工艺性能是物理、化学、力学性能的综合。按工艺方法的不同,分为可铸性、可锻性、焊接性和切削加工性等。

1.2.3 常用钢铁材料简介

钢铁材料又称黑色金属材料,是以铁和碳元素为主要化学成分的一系列金属材料(钢、生铁、铸铁和铸钢)的总称。

各行各业都用钢,为了保证钢的质量,国家及有关部门对各种钢制定了标准,GB 为国家规定的标准;YB 为冶金部规定的标准。

1. 钢的分类

根据合金元素含量的不同,可将钢分类为图 1-3 所示的不同种类。

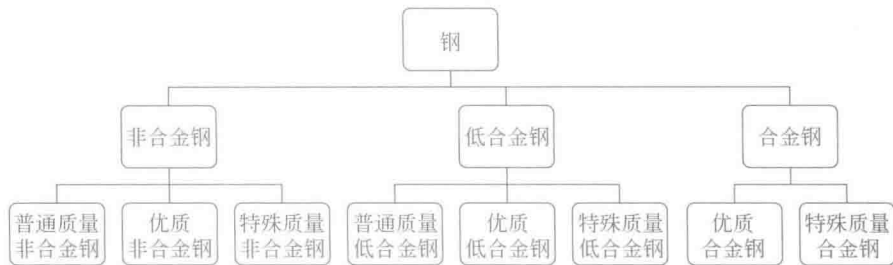


图 1-3 钢的分类

2. 常用非合金钢

非合金钢俗称碳素钢,行业习惯简称碳钢。

1) 按钢的用途和质量分类

按照钢的用途和质量可分为碳素结构钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢。

(1) 碳素结构钢

① 成分: 碳的质量分数 $0.09\% \sim 0.33\%$ 。

② 牌号: 由代表屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法 4 个部分按顺序组成。例如 Q235A 中, Q 表示钢的屈服点“屈”的汉语拼音字首, 235 表示屈服点值为 235 MPa, A 表示质量等级为 A 级。

③ 性能: 碳的质量分数低, 焊接性能好。

④ 用途: 适合于轧制钢板、钢带型钢等, 用于制作不需热处理的焊接、铆接、栓接构件及螺栓、螺母、垫圈等零件。

(2) 优质碳素结构钢

① 成分: 碳的质量分数 0.08%~0.85%。

② 牌号: 用两位数字加符号表示。数字表示碳的质量分数的万分之几, 符号如果是 F 则表示是沸腾钢。例如 08F, 15F。

(3) 碳素工具钢

① 成分: 碳的质量分数 0.65%~1.35%。

② 牌号: 用 T 加数字表示。T 表示碳; 数字表示千分含量。若是特殊质量, 则数字后面加 A。例如: T8A 指碳的质量分数为 0.8% 的特殊质量的碳素工具钢。

③ 性能: 具有很高的硬度和耐磨性, 但淬透性差, 热硬性差。

④ 用途: 用于制作手动和低速切削的工具和要求不高的量具、模具等。

2) 按碳的质量分数不同分类

根据碳的质量分数的不同, 也可将碳钢分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

(1) 低碳钢

① 成分: 碳的质量分数 $\leq 0.25\%$ 。

② 性能: 强度低, 塑性、韧性好, 易于成形, 焊接性好。

③ 用途: 08F、10F、15F 用于冷变形加工成形件、机壳、容器, 10~25 钢用于各种标准件、轴套、容器等。

(2) 中碳钢

① 成分: 碳的质量分数 0.25%~0.6%。

② 性能: 强度和硬度比低碳钢略高, 而塑性和韧性略低, 具有良好的综合力学性能, 切削加工性好, 但焊接性一般。

③ 用途: 30~55 钢用于制作齿轮、主轴及连杆等重要的机械零件。

(3) 高碳钢

① 成分: 碳的质量分数 $> 0.60\%$ 。

② 性能: 在淬火加中温回火后, 具有较高的强度和良好弹性(也叫弹簧钢), 具有较好的耐磨性和中等硬度。

③ 用途: 60 钢以上的钢主要用于制作弹簧、高强度钢丝和耐磨件等。

3. 常用低合金钢

(1) 牌号表示方法: 与碳素结构钢基本相同。

(2) 性能特点: 具有较高的强度、塑性和冲击韧性, 特别是低温冲击韧性; 具有良好的焊接性, 具有较高的抗大气腐蚀性。



4. 常用合金结构钢

- (1) 牌号表示方法：数字加元素符号加数字。
- (2) 性能特点：具有较高的弹性极限、疲劳强度和冲击韧性，具有良好的表面质量。

5. 特殊性能钢

- (1) 不锈钢：在腐蚀性介质(如水、海水、酸、碱等)中具有抗腐蚀性能的钢。
- (2) 耐热钢：用于制造在高温下工作的零件或构件。

6. 铸铁

铸铁分为灰口铸铁、白口铸铁和麻口铸铁，常用的是灰口铸铁。灰口铸铁中的碳主要以石墨形式存在，断口呈灰色。其优点为减振性、耐磨性、导热性好，缺口敏感性低；其缺点是力学性能较差。

灰口铸铁牌号的表示方法为 HT 加数字，如 HT200、HT250 等。

另外还有蠕墨铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和特殊性能铸铁等。

1.2.4 有色金属及其合金

- (1) 铝及铝合金：工业纯铝、铝合金。
- (2) 铜及铜合金：纯铜、铜合金、钛及钛合金。

1.3 切削加工基础

1.3.1 切削加工

切削加工分为机械加工和钳工两类。机械加工主要是人通过机床对零件进行切削加工。加工时零件和刀具分别装夹在机床对应的装置上，靠机床提供的动力和传动，通过刀具对零件进行切削加工。加工方式主要有车削、铣削、刨削、磨削和镗削等，其相应的机床分别称为车床、铣床、刨床、磨床和镗床等。由于机械加工劳动强度低、自动化程度高、加工质量好，是切削加工的主要方式。

机器零件大部分由一些简单几何表面组成，如各种平面、回转面、沟槽等。机床对这些表面切削加工时，刀具与零件之间需有特定的相对运动，这种相对运动称为切削运动。根据在切削过程中所起的作用不同，切削运动可分为主运动和进给运动两种。

1. 主运动

主运动是能够提供切削加工可能性的运动，没有这个运动，就无法对零件进行切削加工。在切削过程中主运动速度最高，消耗能源最多。如图 1-4 所示，车削中零件的旋转运动、铣削中铣刀的旋转运动、刨削中牛头刨床上刨刀(龙门刨床滑枕)的往复直线移动、磨削中砂轮的旋转运动和钻削中钻头的旋转运动等都是主运动。