



普通高等教育新工科创新系列教材
普通高等教育“十三五”规划教材

工程训练

谢志余 朱瑞富 顾荣 主编

新形态
教材



科学出版社

普通高等教育新工科创新系列教材
普通高等教育“十三五”规划教材

工 程 训 练

主 编 谢志余 朱瑞富 顾 荣

副主编 马鹏飞 刘 代 李强伟

编 委 唐艳玲 李春玲 周新弘

范红梅 谭 洪

主 审 傅水根

科 学 出 版 社

北 京

版权所有 侵权必究

举报电话：010-64034315；010-64009006（传真）

内 容 简 介

本书旨在培养学生在现代化工程训练过程中的工程素质和综合能力，按照适应现代化大工程背景下工程训练的基本要求编写。本书分为三篇，共13章，分别介绍了工程材料及其成型、切削加工技术、现代加工技术。重点突出实践性和创新性，帮助学生掌握材料的加工方法，了解机械制造的工艺过程和新工艺、新技术的应用；指导学生实际操作，使学生掌握初步操作技能，进而建立大机械、大制造、大工程的概念；指导学生学习科学研究的基本方法，培养学生分析和解决实际问题的能力，使学生养成团结协作的工作作风和严谨的科学态度，在知识、能力和素质等方面都得到较全面的训练与提高。

本书可供高等院校机械类和非机械类专业学生参加工程训练实践教学使用，也可供大专、职专、技校学生以及其他工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程训练 / 谢志余, 朱瑞富, 顾荣主编. —北京: 科学出版社, 2018.12
普通高等教育新工科创新系列教材·普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-03-059670-3

I. ①工… II. ①谢… ②朱… ③顾… 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(2018)第262376号

责任编辑：邓 静 张丽花 王晓丽 / 责任校对：郭瑞芝
责任印制：霍 兵 / 封面设计：迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

天津市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年12月第一版 开本：787×1092 1/16

2018年12月第一次印刷 印张：17 1/4

字数：450 000

定价：49.80元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

版权所有，违者必究！未经本社许可，数字图书馆不得使用

前 言

本书根据教育部颁发的高等工科院校“工程训练教学基本要求”和教育部工程材料及机械制造基础课程指导小组修订的“工程训练教学基本要求”的精神，结合培养应用型工程技术人才的实践教学特点编写，为机械类及非机械类学生的工程训练实习教材。

工程训练是高等工科院校机械类专业和相关专业的一门实践性很强的技术基础课。“崇尚实践，回归工程”是对工科大学生工程设计、制造和管理等综合能力及素质培养的指导思想。本书以现代制造工程技术为主导，以传统加工工艺为基础；既基于金工实习对掌握机械制造技术的学习与训练，又融合了对机械产品生产工艺过程的体验与实践。因此，本书重点突出理论知识与实践教学相适应，也兼顾机械制造基本过程整个系统框架的完整性。由于金工系列课程的改革和现代科学技术的发展，本次编写按机械工程和相关专业方向的教学要求，对原教学内容进行了较大的更新和充实，并增加了其他材料成型章节，以满足高等工科院校对大学生机械制造实践教学和工程训练的需要。

本书由谢志余（苏州大学）、朱瑞富（山东大学）、顾荣（江苏科技大学）担任主编，马鹏飞（江苏大学）、刘代（山东大学）、李强伟（苏州大学）担任副主编。参与本书编写的有谢志余（第0章、第3章、第7章、第8章），朱瑞富（第1章），马鹏飞（第2章），刘代（第4章），周新弘（第5章、第12章），顾荣（第6章、第9章），李强伟、谭洪（第10章），范红梅、唐艳玲（第11章），李春玲（第13章）。编写过程中，得到苏州大学工程训练中心、江苏大学工程训练中心、南通大学工程训练中心、江苏科技大学工程训练中心以及山东大学工程训练中心指导老师的大力支持，全书由清华大学傅水根教授主审。他们为本书的编写和修改提出了许多宝贵的意见，他们认真细致的态度和严谨的科学作风给全体编写人员留下了深刻的印象，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

2018年6月

目 录

第0章 绪论	1	2.1.2 铸型	25
0.1 概述	1	2.1.3 造型材料	26
0.1.1 机械制造的生产过程和工艺过程	1	2.1.4 常用造型工具和工艺装备	27
0.1.2 机械制造基本工艺方法	2	2.1.5 造型方法	27
0.2 机械产品的质量	2	2.1.6 制芯方法	32
0.2.1 零件的加工质量	3	2.1.7 砂型铸造工艺方案的选择	33
0.2.2 产品的加工方法	3	2.1.8 浇注系统	35
0.2.3 机械加工精度的获得方法	5	2.1.9 冒口和冷铁	35
0.2.4 装配质量	5	2.1.10 铸造合金的熔炼、浇注及清理	36
0.2.5 质量检测方法	5	2.1.11 特种铸造	36
		2.1.12 铸件常见缺陷分析	38
		2.2 铸造工艺训练	40
第一篇 工程材料及其成型		2.2.1 整模造型操作训练	40
第1章 工程材料与热处理	7	2.2.2 分模造型操作训练	41
1.1 工程材料	8	2.2.3 挖砂造型操作训练	42
1.1.1 金属材料	9	2.2.4 铸造创新训练	43
1.1.2 非金属材料	11	2.3 工程实践案例	44
1.1.3 复合材料	12	思考题	45
1.2 热处理及设备	14	第3章 锻压成型	47
1.2.1 热处理	14	3.1 坯料的加热与锻件的冷却	47
1.2.2 热处理常用设备	18	3.1.1 加热目的与锻造温度	47
1.2.3 热处理常见缺陷	19	3.1.2 加热炉	48
1.2.4 热处理安全技术操作规程	20	3.1.3 加热缺陷	49
1.3 热处理工艺训练	20	3.1.4 锻件的冷却	49
1.3.1 同种材料不同热处理工艺训练及 硬度检测	20	3.2 自由锻	49
1.3.2 不同材料同种热处理工艺训练及 硬度检测	20	3.3 模锻和胎模锻	52
思考题	22	3.4 板料冲压	53
第2章 铸造成型	23	3.4.1 冲床	54
2.1 铸造基础知识	24	3.4.2 冲压工序	54
2.1.1 铸造概述	24	3.4.3 冲模	55
		3.4.4 冲压生产实例	56
		思考题	57

第4章 连接成型	58	5.4.3 陶瓷基复合材料的成型	92
4.1 焊接基础知识	58	思考题	92
4.1.1 熔焊基础知识	59	第二篇 切削加工技术	
4.1.2 焊接应力与变形	62	第6章 切削加工基础知识	93
4.2 焊条电弧焊	63	6.1 切削加工的运动及切削要素	93
4.2.1 焊条电弧焊焊缝形成过程	63	6.1.1 切削运动	93
4.2.2 焊条电弧焊设备与工具	63	6.1.2 切削用量	94
4.2.3 焊条	65	6.2 金属切削刀具	95
4.2.4 焊条电弧焊操作工艺	66	6.2.1 刀具的组成、结构和材料	95
4.3 气焊与气割	69	6.2.2 刀具几何角度	96
4.3.1 气焊设备与焊丝	70	6.3 机械零件的加工质量	97
4.3.2 气焊操作方法	71	6.3.1 机械加工精度	97
4.3.3 气割	72	6.3.2 公差与配合	98
4.4 其他焊接方法	72	6.3.3 表面粗糙度	99
4.4.1 气体保护焊	72	6.4 工件的定位与夹紧	100
4.4.2 压焊	73	6.5 常用量具	102
4.4.3 钎焊	75	6.5.1 常用长度量具与测量	102
4.4.4 埋弧焊	75	6.5.2 常用角度量具与测量	105
4.4.5 电渣焊、电子束焊、激光焊	76	6.5.3 表面粗糙度测量	106
4.5 焊接工艺训练	76	思考题	107
4.5.1 焊条电弧焊工艺训练	76	第7章 车削加工	108
4.5.2 气焊与气割工艺训练	78	7.1 车床	109
4.5.3 二氧化碳气体保护焊工艺训练	79	7.2 车刀及其安装	111
4.6 黏接基础知识	80	7.3 工件的装夹	114
4.6.1 黏接过程及接头	80	7.3.1 用三爪定心卡盘装夹工件	114
4.6.2 黏接方法的特点及应用	81	7.3.2 用四爪单动卡盘装夹工件	114
4.6.3 黏接工艺训练	81	7.3.3 用顶尖装夹工件	115
思考题	82	7.3.4 中心架和跟刀架的应用	116
第5章 其他材料成型	83	7.3.5 用芯轴装夹工件	117
5.1 概述	83	7.3.6 花盘和弯板装夹工件	117
5.2 粉末冶金材料成型	84	7.4 车削基本工艺	118
5.2.1 粉末冶金材料成型过程	84	7.4.1 车外圆	118
5.2.2 粉末冶金零件的结构工艺性	87	7.4.2 车端面和台阶	119
5.3 非金属材料成型	87	7.4.3 车槽和车断	120
5.3.1 高分子材料成型	88	7.4.4 钻孔和镗孔	121
5.3.2 陶瓷材料成型	89	7.4.5 成型面的加工	121
5.4 复合材料成型	90	7.4.6 螺纹加工	123
5.4.1 树脂基复合材料的成型	90	7.4.7 车床加工的其他形式	125
5.4.2 金属基复合材料的成型	92		

第 11 章 数控铣削	222	12.2.1 电火花加工概述	248
11.1 数控铣削概述	222	12.2.2 电火花线切割加工	249
11.1.1 数控铣床的分类及特点	223	12.2.3 线切割加工的编程	251
11.1.2 数控铣床的组成部分	223	12.2.4 线切割加工工艺	254
11.2 数控铣床程序的编制	226	12.3 电解加工	256
11.2.1 数控铣床编程基础知识和编程		12.4 激光加工和超声波加工	257
方法	226	12.5 电子束加工和离子束加工	259
11.2.2 数控铣床程序常用功能	228	12.5.1 电子束加工	259
11.2.3 零件的铣削加工	235	12.5.2 离子束加工	259
11.3 数控铣床的操作	238	思考题	260
11.3.1 系统控制面板和机床操作面板	239	第 13 章 快速成型制造	261
11.3.2 数控铣床的基本操作	240	13.1 快速成型概述	261
11.4 加工中心	242	13.2 熔融沉积成型工艺	263
11.5 综合训练	243	13.3 快速成型工艺的发展前沿和探索	
11.6 五轴加工中心简介	244	研究	264
思考题	246	13.4 其他快速原型制造技术简介	265
第 12 章 特种加工	247	思考题	267
12.1 特种加工概述	247	参考文献	268
12.2 电火花加工	248		



第0章 绪 论

0.1 概 述

机械制造是一门研究把工程材料加工制造成零部件，然后按一定的要求组装成机器或机电产品的科学技术。金工实习或继后发展出的工程训练，就是利用一段完整的时间，投入到机械制造基本过程的整个环节之中，对该技术进行实地、实机、实物的学习、研究与实践。

0.1.1 机械制造的生产过程和工艺过程

1. 机械产品开发、设计基本原则

(1) 满足需要原则：即所开发、设计的产品的性能应最大限度地满足用户的要求。

(2) 经济合理原则：即所开发、设计的产品在一定时期内保持先进的结构，功能丰富、价格低廉、维修方便。

(3) 可靠性原则：即采用最先进的材料及制造工艺，保证产品在规定的时间内和给定的条件下，准确完成规定的功能。

2. 零部件设计基本原则

(1) 材料选用原则：即不同用途的零部件，采用能充分发挥该零部件使用功能的材料加工制造，并满足经济性要求。

(2) 材料特性原则：即各种材料的物理性能、化学性能及力学性能，如静强度、疲劳强度、弹性变形、高温强度、摩擦系数等相关因素能够满足零件的使用要求。

(3) 零件加工工艺原则：即零件设计的结构工艺符合当前所有的工艺流程和能满足加工工艺要求的各种机械设备。设计再好的零件，没有合适的加工工艺也不可能制造出来；而如果一个零件设计时没有充分发挥当今所有各类先进设备的加工工艺水平，则会对零件本身的质量性能带来影响。

要正确应用零部件设计基本原则，就要求设计人员能够基本掌握各类材料的区分方法、材料基本特性及应用范围，能够熟悉各类普通加工机床和数控加工机床的性能、规格及加工范围，从而为设计出最高性价比的零件打下基础。

3. 工艺过程

工艺过程是指通过工具和机械设备直接改变材料的尺寸、形状或性能，使之成为产品或零部件的过程。

机械制造工艺过程包括零件的制造工艺过程和产品装配工艺过程；而零件的制造工艺过程又包括毛坯制造工艺过程、机械加工工艺过程和热处理工艺过程。

制造零件机械加工工艺过程的基本步骤如下。

(1) 对被加工零件的施工图纸进行工艺分析，分析时应重点检查图纸的完整性和正确性。

(2) 了解零件在整机中的位置及作用，审查该零件材料的选择是否恰当，材料特性是否符合零件功能要求。

(3) 分析零件加工的形状、尺寸、位置精度、热处理指标及表面覆层处理等技术要求，审查零件的结构、工艺性是否满足现有加工设备的工艺特点，便于加工与装配。

(4) 拟定工艺路线。拟定工艺路线时，首先要考虑零件毛坯定位基准面的选择，继而确定各表面的

加工方法并划分加工阶段。合理安排各表面的加工工序，确定工序余量、工序尺寸及公差。

4. 工艺规程

用表格或指令的形式将工艺过程的有关内容明确规定，称为工艺规程。工艺规程是生产过程中必要的技术资料，是企业或制造团体的规范性文件。这类文件未经制造工艺规程的技术主管批准，不得随意变动修改。

工艺规程的具体格式因企业或制造团体的性质、规模不同而不尽相同。常见的有工艺过程卡与施工工艺卡两种格式。卡中首行标注的有产品的名称与型号、零件的名称与件号、生产批号与生产数量、毛坯种类与材料明细等内容。首行以下标注加工工序顺序号、工艺装备的名称及编号、该工序工时定额等内容。单件小批量生产情况下，工艺卡内容可以相对简要。复杂、关键零件或大批量生产情况下，工艺卡的标准内容就须详细，将工序分解为每一工步，对达到的尺寸公差、夹装方式、刀具选用、切削用量加以规定。重要的工步，甚至要绘出工艺草图加以标注。

机械产品的生产过程是指从原材料到该机械产品出厂的全部劳动过程。它包括以下四个过程：生产技术准备过程，如产品的设计与绘图、制定工艺过程、设计与制造专用工艺设备和装备等；工艺过程，即直接用于改变毛坯的形状、尺寸、表面质量、力学性能、外观等的劳动过程；辅助生产过程，即为完成工艺过程所必须进行的劳动过程，如设备的维修、刀具的刃磨、某些动力的生产等；生产服务过程，即为顺利完成工艺过程而进行的一些劳动过程，如供销、运输、保管、生活服务。

0.1.2 机械制造基本工艺方法

机械制造一般可以分为热加工和冷加工两大类方法。

机械制造热加工是研究如何运用铸造、锻压、焊接、热处理、粉末冶金、零件的表面处理等方法将材料制成毛坯或直接加工成具有一定尺寸和性能的毛坯或零件，也称为材料加工过程。

机械制造冷加工主要是研究利用切削加工方法将毛坯或材料成型为(所需要精度与表面粗糙度)高精度、低粗糙度的零件，并将零件装配为机器。

切削加工包括车削、铣削、刨削、插削、拉削、镗削、磨削、齿轮加工、钳工加工等内容。数控技术的出现使切削加工及其他加工方法在加工能力和效率等方面得到了空前的提高。

特种加工包括电火花加工、超声波加工、激光加工、电子束加工、等离子束加工等。这些虽然已经不属于切削加工的范围，但也是机械制造冷加工的一部分。

机械制造的工艺过程一般是先用铸造、锻压或焊接等方法将材料制成零件的毛坯(或半成品)，再经切削加工制成零件，最后将零件装配成机器。在机械制造过程中，为改善和提高毛坯或工件的性能，常要对其进行热处理或表面处理。在机械制造过程中，各种加工方法既是离散的和相对独立的，它们之间又是相互渗透、相互交叉的，彼此有内在联系。

目前，机械制造领域，大批量的规模化生产制造往往采用由计算机控制的柔性制造专用自动化机床和刚性制造系统生产流水线以及由计算机集中控制的无人工厂制造，从而强化质量控制能力和提高产品生产效率。

科学技术的发展与进步，已使机械制造工艺设备本身更精确、更高效、更安全、更可靠和更智能化成为可能。

0.2 机械产品的质量

机械产品是由若干机械零件装配而成的，机器的使用性能和寿命取决于零件的制造质量和装配质量，而装配中的调试工作是制造业中的核心技术。

0.2.1 零件的加工质量

零件的质量主要是指零件的材质、力学性能和加工质量等。零件的材质和力学性能在第 1 章中将有叙述。零件的加工质量是指零件的加工精度,以及整体或表面质量。加工精度是指加工后零件的尺寸、形状和表面间相互位置等几何参数与理想几何参数符合的程度。符合的程度越高,零件的加工精度越高。

实际几何参数对理想几何参数的偏离称为加工误差。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。

在保证零件使用要求的前提下,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、形状公差和位置公差。

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以及表面层金相组织等。

零件的加工质量对零件的使用有很大影响,其中考虑最多的是加工精度和表面粗糙度。

0.2.2 产品的加工方法

机械产品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。改变材料性能的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、锻造和焊接。

(1) 铸造。熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状和性能铸件的成型方法。如柴油机机体、车床床身等。

(2) 锻造。对经过加热后的坯料施加外力使其产生塑性变形,改变尺寸、形状,改善性能,用以制造机械零件、工件或毛坯的成型方法。如航空发动机的曲轴、连杆等。

(3) 焊接。通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使焊件达到原子结合的一种加工方法。一般用于大型框架结构或一些复杂结构,如轧钢机的机架、坦克的车身等。

铸造、锻造、焊接加工往往要对原材料进行加热,所以这些加工方法也称为热加工(严格说来应是在再结晶温度以上的加工)。

2. 切削加工

切削加工是用来提高零件的精度和降低表面粗糙度,以达到零件的设计要求的工艺方法。主要的加工方法有车削、铣削、刨削、钻削、镗削、磨削等。

车削加工是应用最为广泛的切削加工之一,主要用于加工回转体零件的外圆、端面、内孔、外螺纹、内螺纹等,如轴类零件、盘套类零件的加工。

铣削加工也是一种应用广泛的加工形式,主要用来加工零件上的平面、沟槽等。

钻削和镗削主要用于加工工件上的孔。钻削用于小孔的加工;镗削用于大孔的加工,尤其适用于箱体上轴承孔孔系的加工。

刨削主要用来加工平面和沟槽,由于加工效率低,一般用于单件小批量生产。

磨削通常作为精密加工,经过磨削的零件表面粗糙度数值小、精度高。因此,磨削常作为重要零件上主要表面的终加工。

表 0-1 和表 0-2 分别列出各种加工方法的加工精度和表面粗糙度 Ra , 以供参考。

表 0-1 各种加工方法的大致加工精度

加工方法	公差等级 (IT)																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
研磨	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
珩						—	—	—	—									
圆磨							—	—	—									
平磨							—	—	—	—								
金刚石车							—	—	—									
金刚石镗							—	—	—									
拉削							—	—	—	—								
铰孔								—	—	—	—	—						
车削									—	—	—	—	—					
镗削									—	—	—	—	—					
铣削										—	—	—	—					
刨削、插削											—	—						
钻孔												—	—	—	—			
滚压、挤压								—	—	—	—	—						
冲孔												—	—	—	—	—		
压铸													—	—	—	—		
粉末冶金成型								—	—	—								
粉末冶金烧结										—	—	—	—					
砂型铸造、气割																		—
锻造																		—

注：表中线表示常用加工精度。

表 0-2 普通材料和一般生产过程所能得到的典型粗糙度

方法	粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$												相当于旧国标 表面光洁度	
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025		
火焰切割	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽2~▽3
去皮磨	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽2~▽4
锯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽2~▽5
刨削、插削	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽3~▽7
钻削			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽3~▽5
化学铣			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽4~▽6
电火花加工			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽6
铣削		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽4~▽7
拉削			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽7
铰孔			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽8
镗削、车削		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽4~▽7
滚筒光整					—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽7~▽9
电解磨削						—	—	—	—	—	—	—	—	▽7~▽9
滚压抛光							—	—	—	—	—	—	—	▽8~▽9
磨削				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽6~▽10
珩磨							—	—	—	—	—	—	—	▽7~▽12
抛光								—	—	—	—	—	—	▽8~▽13
研磨									—	—	—	—	—	▽8~▽14
超精加工										—	—	—	—	▽9~▽13
砂型铸造	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽2~▽3
热滚轧	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽2~▽3
锻造		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽3~▽5
永久模铸造					—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽6
熔模铸造					—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽6
挤压				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽7
冷轧拉拔				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▽5~▽7
压铸						—	—	—	—	—	—	—	—	▽6~▽7

注：粗实线为常用平均范围，细实线为不常应用范围。表中最后一列是根据表中粗实线数值与《表面粗糙度》旧国标对照后得到的大致对应关系。

0.2.3 机械加工精度的获得方法

1. 获得尺寸精度的方法

(1) 试切法: 通过试切、测量、调整、再试切的反复过程, 直至达到尺寸精度要求后, 再切整个加工表面。

(2) 调整法: 按对刀样板或试切好的工件, 调整好刀具与工件(或夹具)之间的正确加工位置, 然后进行一批零件的加工, 以获得所要求的尺寸精度。

(3) 定尺寸刀具法: 用具有一定尺寸和形状的刀具加工, 使加工表面获得要求尺寸的形状。如钻孔、扩孔、铰孔、拉孔、攻螺纹等。

(4) 自动控制法: 使加工过程中的测量、补偿调整和切削等一系列工作自动完成, 来获得所要求的尺寸精度。

2. 获得形状精度的方法

(1) 轨迹法: 依靠刀具与工件之间的相对运动轨迹进行加工, 以获得工件的形状精度, 如一般的车削。

(2) 成型法: 将刀具刃口形状做成工件形状的偶件进行加工, 以获得工件的形状精度。

(3) 展成法: 刀具与工件做具有严格运动关系的啮合运动, 以获得工件的形状精度。

3. 获得位置精度的方法

(1) 一次安装获得法: 通过工件在一次安装的加工中, 来获得工件各表面间相互位置精度。

(2) 多次安装获得法: 通过工件在多次安装的加工中, 来获得工件各表面间相互位置精度。

获得位置精度的方法也可按工件定位的方法分为直接找正法、划线找正法和用夹具安装法。

0.2.4 装配质量

将零件组合成组件和部件, 并进一步将零件、组件和部件结合成机器的过程称为装配。装配是机械制造过程的最后一个阶段, 合格的零部件通过合理的装配和调试就可以获得良好的装配质量, 从而能保证机器的正常运转。

装配精度是装配质量的指标, 主要包含以下几项。

(1) 零部件的尺寸精度, 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的间隙或过盈的要求。距离精度是指零部件之间的轴向距离、轴线之间的距离等达到规定的要求。

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

(3) 零部件之间的相对运动精度, 主要是指具有相对运动要求的零部件在运动方向和运动位置上的精度。如在车床上车削螺纹时, 刀架与主轴的相对移动精度。

(4) 接触精度, 指两配合表面、接触表面和连接表面间达到规定的接触面积与接触点分布情况。如相互啮合的齿轮、相互接触的导轨面之间均有接触精度要求。

一个机械产品推向市场, 需要经过设计、加工、装配、调试等环节。产品的质量与这些环节紧密相关, 最终体现在产品的使用性能上。企业应从各方面来保证产品的质量。

0.2.5 质量检测方法

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, 而且要通过相应的手段来进行检测。质量检测的方法涉及的范围和内容很多, 这里仅做简单介绍。

1. 金属材料的检测方法

金属材料应对其外观、尺寸、理化三个方面进行检测。外观采用目测的方法。尺寸采用样板、直尺、卡尺、钢卷尺、千分尺等量具进行测量。理化检测项目较多, 主要有如下几种。

1) 化学成分分析

常用的化学成分分析方法有化学分析法、光谱分析法、火花鉴别法。

化学分析法能测定金属材料的各元素含量, 是一种定量分析方法, 也是工厂必备的常规检测手段。

光谱分析法是根据物质的光谱测定物质组成的分析方法,其测量工具有台式和便携式光谱分析仪器。火花鉴别法是把钢铁材料放在砂轮上磨削,由发出的火花特征来大体判断它的成分的方法。

2) 金相分析

这是鉴别金属及其合金组织结构的方法。常用宏观检验和微观检验两种方法进行分析。

(1) 宏观检验即低倍检验,是用目视或在低倍放大镜(不大于 10 倍的放大镜)下检查金属材料表面或断面以确定其宏观组织的方法。常用的宏观检验法有硫印试验、断口检验、酸蚀试验和裂纹试验。

(2) 显微检验即高倍检验,是在光学显微镜下观察、辨认和分析金属微观组织的金相检验方法。显微分析法可测定晶粒的形状和尺寸,鉴别金属的组织结构,显现金属内部的各种缺陷,如夹杂物、微小裂纹和组织不均匀及气孔、脱碳等。

3) 力学性能试验

力学性能试验有硬度试验、拉力试验、冲击试验、疲劳试验、高温蠕变及其他试验等。力学性能试验及以下介绍的各种试验均在专用试验设备上进行。

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性试验等。

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

无损探伤是不损坏原有材料,检查其表面和内部缺陷的方法。

(1) 磁粉探伤利用铁磁性材料在磁场中会被磁化,而夹杂等缺陷是非磁性物质及裂缝磁力线均不易通过原理,在工件表面上撒些导磁性良好的磁粉(氧化铁粉),磁粉就会被缺陷形成的局部磁极吸引,堆积其上,显出缺陷的位置和形状。磁粉探伤用于检查铁磁性金属和合金表面层的微小缺陷,如裂纹、折叠、夹杂等。

(2) 超声探伤利用超声波传播时有明显的指向性来探测工件内部的缺陷。当超声波遇到缺陷时,缺陷的声阻抗(即物质的密度和声速的乘积)同工件的声阻抗相差很大,因此大部分超声能量将被反射回来。如发射脉冲式超声波,并对超声波进行接收,就可探出缺陷,且可从反射波返回时间和强度来推知缺陷所处深度及相对大小。超声探伤用于检验大型锻件、焊件或棒材的内部缺陷,如裂纹、气孔、夹渣等。

(3) 渗透探伤,在清洗过的工件表面上施加渗透剂,使它渗入开口的缺陷中,然后将表面上的多余渗透剂除去,再施加一薄层显像剂,后者由于毛细管作用而将缺陷中的残存渗透剂吸出,从而显出缺陷。渗透探伤用于检验金属表面的微小缺陷,如裂纹等。

(4) 涡流探伤,将一通入交流电的线圈放入一根金属管中,管内将感应出周向的电流,即涡流。涡流的变化会使线圈的阻抗、通过电流大小和相位发生变化。管(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。检测阻抗的变化就可以达到探伤的目的。涡流探伤用于测定材料的电导率、磁导率、薄壁管壁厚和材料缺陷等。

2. 尺寸的检测方法

尺寸 1000mm 以下,公差值大于 3.2mm,有配合要求的工件(原则上也适用于无配合要求的工件)使用普通计量器具(千分尺、卡尺、百分表等)检测。常用量具的介绍参见第 6 章。特殊情况可使用测距仪、激光干涉仪、经纬仪、钢卷尺等测量。

3. 表面粗糙度的检测方法

通常有样板比较法、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、激光测微仪测量法等。生产现场常用样板比较法,就是以样板工作面上的粗糙度作为标准,用视觉法和触觉法与被测表面进行比较来判定被测表面是否符合要求。

4. 形位公差的检测方法

根据形状和位置以及公差要求的不同,形位公差的检测方法各不相同。

第一篇 工程材料及其成型

第 1 章 工程材料与热处理

材料是用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的那些物质。材料是人类赖以生存和发展的物质基础，材料的发展及其应用是人类社会文明进步的重要里程碑，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。基于材料对社会发展的作用，20 世纪 70 年代人们曾把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。在三大支柱中，材料又是能源和信息的基础。可以说，没有材料科学的发展，就不会有人类社会的进步和经济的繁荣。

图 1-1 为汽车结构示意图。请仔细研究一下，这辆汽车到底什么样？说的不是它能跑多快，也不是指它的越野极限耐力有多强，而是它到底是由什么材料做成的。关于汽车构件，人人都能说出几样：发动机、变速器、座椅、空调系统等。但是，你想过制造这些汽车构件所用的各种原材料吗？

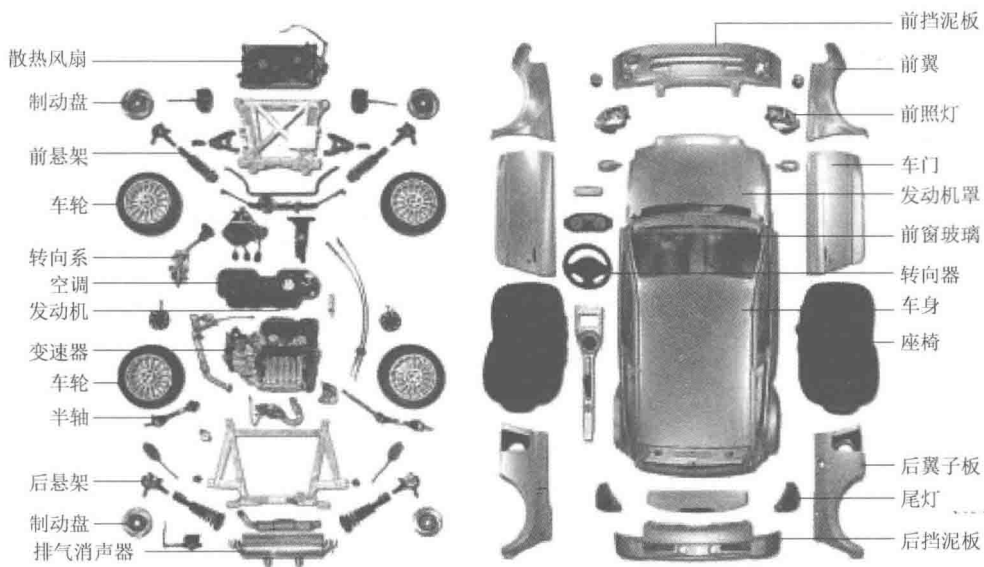


图 1-1 汽车结构示意图

通过本章的学习，你将了解工程材料的主要类型、性能特点及其应用，以及采用何种热处理方法、工艺和设备来实现各种不同材料构件的性能要求等基础知识。

📖 知识要点 ▶▶

- (1) 熟悉工程材料的基本概念、常用类型、主要特点和应用情况。
- (2) 熟悉热处理的基本概念、类型、特点、目的和应用。
- (3) 了解常见热处理缺陷的基本概念、类型、特点、防止或补救措施。
- (4) 了解常用热处理设备的类型、结构、用途和操作方法。

📖 实践训练 ▶▶

进行同种材料不同热处理工艺和不同种材料同一种热处理工艺操作训练及硬度检测实验；分析比较材料成分、热处理工艺、组织和性能之间的关系。

📖 探索思考 ▶▶

如何防止常见热处理缺陷的产生？常见热处理缺陷产生后如何补救？

📖 预备知识 ▶▶

请预先复习工程材料与机械制造基础(金工)、工程材料学和金属工艺学的相关知识。

1.1 工程材料

工程材料是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域的材料。长期以来，在机械构件中所使用的材料一直以金属材料为主，但科学技术的进步推动了材料工业的发展，使新材料不断涌现。石油化学工业的发展促进了合成材料的兴起和应用；20世纪80年代，特种陶瓷材料的研究又有很大进展。因此现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料已多达40余万种，并且每年以约5%的速率增加。

工程材料有各种不同的分类方法。一般按化学成分的不同分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。



1.1.1 金属材料

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,并具有金属特性的工程材料。金属材料的品种繁多,工程上常用的金属材料主要有钢铁及有色金属等。

金属材料中使用最多的是钢铁,钢铁是世界上的头号金属材料,年产量高达数亿吨。钢铁材料广泛应用于工农业生产及国民经济各部门。例如,各种机器设备上大量使用的轴、齿轮、弹簧,建筑上使用的钢筋、钢板,以及交通运输中的车辆、钢轨、船舶等,都要使用钢铁材料。通常所说的钢铁是钢与铁的总称。实际上钢铁是以铁为基体的铁碳合金,当碳的质量分数大于2.11%时称为铁,当碳的质量分数为0.02%~2.11%时称为钢。

为了改善钢的性能,人们常在钢中加入硅、锰、铬、镍、钨、钼、钒等合金元素,它们各有各的作用,有的提高强度,有的提高耐磨性,有的提高抗腐蚀性能等。在冶炼时有目的地向钢中加入合金元素就形成了合金钢。合金钢种类很多,按照它们的性能与用途不同,可分为合金结构钢、合金工具钢、不锈钢、耐热钢、超高强度钢等。

有色金属包括铝、铜、钛、镁、锌、铅及其合金等,虽然它们的产量及使用量不如钢铁材料多,但由于它们具有某些独特的性能和优点,所以是当代工业技术中不可缺少的材料。

1. 常用金属材料

1) 钢

(1) 碳素钢。碳素钢是指碳的质量分数为0.02%~2.11%和含有少量硅、锰、硫、磷等杂质元素的铁碳合金,简称碳钢。其中硅、锰是有益元素,对钢有一定强化作用;硫、磷是有害元素,分别增加钢的热脆性和冷脆性,应严格控制。碳钢的价格低廉、工艺性能良好,在机械制造中应用广泛。常用碳钢的种类、牌号、应用举例及说明如表1-1所示。

表 1-1 常用碳钢的种类、牌号、应用举例及说明

种类	牌号	应用举例	说明
碳素结构钢	Q215A	承受载荷不大的金属结构件,如薄板、铆钉、垫圈、地脚螺栓及焊接件等	碳素钢的牌号由代表钢材屈服点的字母Q、屈服强度、质量等级符号、脱氧方法四个部分组成。其中质量等级共分四级,分别以A、B、C、D表示
	Q235A	金属结构件、钢板、钢筋、型钢、螺母、连杆、拉杆等,Q235C、D可用作重要的焊接件	
优质碳素结构钢	15	强度低,塑性好,一般用于制造受力不大的冲压件,如螺栓、螺母、垫圈等。经过渗碳处理或氢化处理可用作表面要求耐磨、耐腐蚀的机械零件,如凸轮、滑块等	牌号的两位数字表示平均碳的质量分数的万分数,45钢即表示平均碳的质量分数为0.45%。含锰量较高的钢,须加注化学元素符号“Mn”
	45	综合力学性能和切削加工性均较好,用于强度要求较高的重要零件,如曲轴、传动轴、齿轮、连杆等	
碳素工具钢	T8 T8A	有足够的韧度和较高的硬度,用于制造能承受振动的工具,如钻中等硬度的岩石的钻头、简单模子、冲头等	用“碳”或“T”,后附以碳的平均质量分数的千分数表示,如T7~T13,碳的平均质量分数为0.7%~1.3%
碳素铸钢	ZG200-400	有良好的塑性、韧度和焊接性能,用于受力不大、要求韧度好的各种机械零件,如机座、变速器壳等	“ZG”代表铸钢。其后面第一组数字为屈服强度(MPa);第二组数字为抗拉强度(MPa)。ZG200-400表示屈服强度为200MPa,抗拉强度为400MPa的碳素铸钢



案例 1-1

请你列表分析总结汽车中各零部件所使用材料的主要类型、性能特点和应用部位。

问题:

- (1) 汽车由哪些零部件构成?
- (2) 汽车中各零部件分别安装在汽车的何种部位?
- (3) 对安装在汽车不同部位零部件有何性能要求?
- (4) 汽车中各零部件所使用的材料类型是什么?
- (5) 不同类型材料有何性能特点?