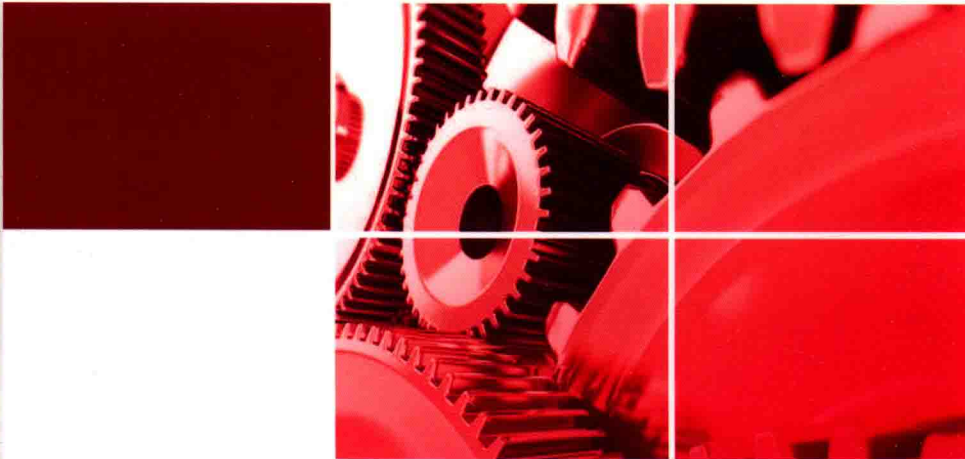


普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
省精品课程“工程材料及机制基础”配套教材



工程训练教程

周桂莲 陈昌金 徐爱民 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
省精品课程“工程材料及机制基础”配套教材

工 程 训 练 教 程

主 编	周桂莲	陈昌金	徐爱民			
副主编	刘叶鹏	王春娟	庄新颖			
参 编	李 花	林韶辉	邱成峰	周学丽	柏秀芳	
	刘 卓	蒋 炜	单玉东	田俊峰	王存涛	
	许增录	左维琪	李鲁晋	修 霞	李月振	
	刘 斌					
主 审	汪传生	高 进				



机械工业出版社

本书是根据教育部人才培养目标、新的国家标准和机械基础教学指导分委员会编制的“高等学校机械基础系列课程现状调查报告暨机械基础系列课程教学基本要求”的精神,结合国内各高等院校工程实践训练教学改革的经验而编写的。

本书取材新颖、联系实际、结构紧凑、文字简练、图文并茂、基本概念清晰、重点突出、创新案例丰富,有利于提高学生的实践技能和工程素质。全书共15章,内容包括工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、传统切削加工(包括车削、刨削、铣削、磨削、镗削和拉削)、钳工、数控加工和特种加工的基本知识、各种成形方法、加工方法以及新技术和新工艺等,并介绍了常用的设备、工具和量具。

本书可作为高等院校机械类、近机类、非机类专业学生在工程训练类课程中的教学用书,也可作为高职、高专、广播电视大学、职工大学相关专业师生及有关领域的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程训练教程 / 周桂莲,陈昌金,徐爱民主编. —北京:机械工业出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材

ISBN 978-7-111-48178-2

I. ①工… II. ①周… ②陈… ③徐… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①HT16

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第229610号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯 杨璇 卢若薇

版式设计:霍永明 责任校对:张玉琴

封面设计:张静 责任印制:李洋

高教社(天津)印务有限公司印刷

2015年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·387千字

标准书号:ISBN 978-7-111-48178-2

定价:31.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,随着高等教育的发展与技术进步,为了满足人才培养模式和日趋重要的实践能力的需要,各工科院校纷纷成立了工程实践训练中心,加大了对工程训练和先进设备的投入。工程实践训练基础课程已逐步吸收了不同学科大量的新材料、新工艺和新技术知识。传统的金工实习逐步发展为面向跨学科、体现实践能力、综合素质和创新能力培养的现代工程训练,使之逐渐具备了基础性、实践性、趣味性和跨学科的知识结构。因此,它不仅是必修的工艺性技术基础课和工程实践课,是对工科大学生进行综合工程素质教育和现代制造技术教育的重要阵地,而且也在提高本科生、专科生的全面素质,培养高质量、高层次、复合型的应用型工程技术人才方面起到了其他课程不可替代的作用。

本书是根据教育部机械基础教学指导分委员会有关“高等学校机械基础系列课程现状调查分析报告暨机械基础系列课程教学基本要求”精神,在认真总结近几年来各校工程训练教学改革的基础上,并结合作者多年来的理论教学和实践教学经验编写而成的。本书在课程内容上涵盖了现代机械制造工艺过程的主要知识和工程训练的基本要求,正确处理了传统工艺与现代新科技的关系。对于目前仍在广泛应用的传统工艺精选保留,对于过时的内容予以淘汰,把技术上较为成熟的、应用范围较宽或发展前景看好的“三新”(即新材料、新技术和新工艺)内容纳入本书的基本内容中,增加了特种加工和数控加工在书中的比重。在编写过程中力求取材新颖、联系实际、结构紧凑、文字简练、直观形象和图文并茂,做到基本概念清晰和重点突出。本书不但有技能训练,还有生产实践中的创新案例,以拓宽学生思路,提高动手和创新能力。

本书主要作为高等理工科院校机械类、近机类、非机类专业在实训实践基础上的理论教学用书,应与《工程材料与机制基础》、《工程训练》、《机械制造基础》、《金属工艺学》等书配套使用。

本书由多所高校中长期从事机械制造基础课程体系教学和工程训练教学的教师和工程技术人员编写。这些教师和工程技术人员均具有丰富的理论和实践教学经验。参加本书编写的人员有周桂莲、陈昌金、徐爱民、刘叶鹏、王春娟、庄新颖、李花、林韶辉、邱成峰、周学丽、柏秀芳、刘卓、蒋炜、单玉东、田俊峰、王存涛、许增录、左维琪、李鲁晋、修霞、李月振和刘斌等。周桂莲教授、陈昌金高工、徐爱民副教授任本书主编,刘叶鹏副教授、王春娟教授、庄新颖任本书副主编,全书由周桂莲教授统稿,承青岛科技大学博士生导师汪传生教授、齐鲁工业大学高进教授担任主审。

本书的编写是对加强实践教学、提高机械工程实践教学质量的初步尝试。由于编者水平所限,书中难免有不妥之处,诚请广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第一篇 工程材料及热加工成形技术 (Engineering Materials and Hot Processing Technology)

第 1 章 工程材料及热处理 (Engineering Materials and Heat Treatment)	1
1.1 概述 (Summary)	1
1.2 钢的热处理工艺 (Heat Treatment Process of Steel)	4
1.3 热处理常用设备 (Common Equipment of Heat Treatment)	9
【安全技术】 (Security Technology)	11
【思考题】 (Thinking Questions)	12
【创新案例】 (Innovation Case)	12
第 2 章 铸造技术 (Casting Technology)	13
2.1 铸造技术基本知识 (Basic Knowledge of Casting Technology)	13
2.1.1 液态合金的充型 (Filling of Liquid Alloy)	13
2.1.2 铸件的收缩 (Casting Shrinkage)	15
2.2 砂型铸造 (Sand Casting)	18
2.2.1 砂型铸造工艺过程 (Sand Casting Process)	18
2.2.2 手工造型 (Manual Molding)	19
2.2.3 机器造型 (Machine Molding)	20
2.2.4 砂型铸造的常见缺陷 (Common Defect of Sand Casting)	21
2.3 特种铸造 (Special Casting)	22
2.3.1 熔模铸造 (Investment Casting)	22
2.3.2 金属型铸造 (Metal Mold Casting)	24
2.3.3 压力铸造 (Pressure Casting)	24
2.3.4 低压铸造 (Low Pressure Casting)	25
2.3.5 离心铸造 (Centrifugal Casting)	25
2.3.6 铸造方法的选择 (Selection of Casting Method)	26
2.4 铸件结构工艺性 (Structure Machinability of Casting Workpieces)	26
2.4.1 从简化铸造工艺过程分析 (Analysis of Simplified Casting Process)	27
2.4.2 从避免产生铸造缺陷分析 (Analysis to Avoiding Casting Defect)	28
2.4.3 铸件结构要便于后续加工 (Casting Structure Convenient for Subsequent Process)	30
2.4.4 组合铸件的应用 (Application of Composite Casting)	31

【安全技术】(Security Technology)	31
【思考题】(Thinking Questions)	31
【创新案例】(Innovation Case)	32
第3章 锻压技术 (Forging and Stamping Technology)	33
3.1 金属的塑性变形理论 (Plastic Deformation Theory of Metal)	34
3.1.1 金属塑性变形的实质 (The Essence of Plastic Deformation of Metal)	34
3.1.2 塑性变形对金属组织及性能的影响 (Effect of Plastic Deformation on Metal Organization and Property)	36
3.1.3 金属的可锻性 (Metal Forging Property)	37
3.2 锻造 (Forging)	39
3.2.1 自由锻 (Free Forging)	39
3.2.2 模锻 (Die Forging)	42
3.3 板料冲压 (Sheet Metal Stamping)	44
3.3.1 板料冲压基本工序 (Basic Process of Sheet Metal Stamping)	44
3.3.2 冲压件结构工艺性 (Structure Machinability of Stamping Workpiece)	46
【安全技术】(Security Technology)	48
【思考题】(Thinking Questions)	48
【创新案例】(Innovation Case)	48
第4章 焊接技术 (Welding Technology)	49
4.1 焊条电弧焊 (Shielded Metal Arc Welding)	49
4.1.1 焊条电弧焊的设备 (Shielded Metal Arc Welding Equipment)	50
4.1.2 焊条 (Covered Electrode)	51
4.1.3 焊条电弧焊工艺 (Process of SMAW)	52
4.2 其他焊接方法 (Other Welding Method)	54
4.2.1 埋弧焊 (Submerged Arc Welding)	54
4.2.2 气体保护焊 (Gas Shielded Arc Welding)	56
4.2.3 电阻焊 (Resistance Welding)	57
4.2.4 钎焊 (Soldering and Brazing)	59
4.3 焊接质量及其控制 (Quality Control of Welding)	60
4.3.1 金属材料焊接性的概念 (Concept of Metal Weldability)	60
4.3.2 焊接接头金属组织性能的变化 (Change in Metal Organization Property of Welded Joint)	61
4.3.3 焊接应力与焊接变形概念 (Concept of Welding Stress and Deformation)	62
4.3.4 焊件结构工艺性 (Structure Machinability of Welding Workpiece)	63
4.3.5 焊接缺陷及防止措施 (Welding Defect and Preventive Measure)	64
【安全技术】(Security Technology)	65
【思考题】(Thinking Questions)	65
【创新案例】(Innovation Case)	66

第二篇 冷加工成形技术 (Cold Forming Technology)

第5章 切削加工基本知识 (Basic Knowledge of Cutting Process)	68
5.1 概述 (Summary)	68
5.1.1 机械加工的切削运动 (Cutting Motion in Machining Operation)	68
5.1.2 切削用量 (Cutting Parameter)	69
5.1.3 切削用量选择的一般原则 (Selection Principle of Cutting Parameter)	70
5.2 机械加工零件的质量要求 (Quality Requirement of Machining Parts)	70
5.2.1 零件的加工精度 (Machining Accuracy of Parts)	70
5.2.2 零件的表面质量 (Surface Quality of Parts)	71
5.3 常用量具 (Common Measuring Instrument)	72
5.3.1 卡钳 (Caliper)	72
5.3.2 游标卡尺 (Vernier Caliper)	73
5.3.3 外径千分尺 (External Micrometer)	74
5.3.4 百分表 (Dial Indicator)	76
5.3.5 量规 (Gauge)	77
5.3.6 游标万能角度尺 (Vernier Universal Bevel Protractor)	77
5.3.7 量具的维护保养 (Maintenance of Measuring Instrument)	78
【思考题】 (Thinking Questions)	78
第6章 车削加工 (Turning)	79
6.1 概述 (Summary)	79
6.2 车床 (Lathe)	79
6.2.1 普通车床的组成和传动 (Constitution and Transmission of Ordinary Lathe)	80
6.2.2 其他车床 (Other Lathe)	84
6.3 常用刀具材料 (Common Cutter Material)	86
6.3.1 刀具材料应具备的性能 (Required Property of Cutter Material)	86
6.3.2 刀具材料 (Cutter Material)	86
6.4 车刀及其安装 (Turning Tool and Installation)	88
6.4.1 车刀的种类及用途 (Type and Application of Turning Tool)	88
6.4.2 车刀的组成及选择 (Constitution and Selection of Turning Tool)	89
6.4.3 正确装夹车刀 (Clamping of Turning Tool)	91
6.5 车床附件及工件安装 (Lathe Accessory and Workpiece Clamping)	91
6.5.1 自定心卡盘安装工件 (Clamping Workpiece with Self-Centering chuck)	92
6.5.2 单动卡盘安装工件 (Clamping Workpiece with Independent Chuck)	92
6.5.3 双顶尖安装工件 (Clamping Workpiece with Double Top)	93
6.5.4 中心架和跟刀架安装工件 (Clamping Workpiece with Center Rest and Follow Rest)	93
6.5.5 花盘和花盘-弯板安装工件 (Clamping Workpiece with Disc Chuck and Disc Chuck-Plate Bending)	94

6.5.6 心轴安装工件 (Clamping Workpiece with Arbor)	95
6.6 车削的基本操作 (Basic Operation of Turning)	95
6.6.1 车外圆 (Cylindrical Turning)	95
6.6.2 车端面 (Facing Turning)	97
6.6.3 车台阶面 (Stepped Surface Turning)	98
6.6.4 切槽与切断 (Grooving and Cutting Off)	98
6.6.5 车圆锥 (Taper Turning)	99
6.6.6 成形面车削 (Forming Surface Turning)	101
6.6.7 孔加工 (Hole Machining)	101
6.6.8 车螺纹 (Thread Turning)	102
6.6.9 滚花 (Knurling)	103
【思考题】 (Thinking Questions)	104
【创新案例】 (Innovation Case)	104
第7章 刨削加工 (Planing)	105
7.1 牛头刨床 (Shaping Machine)	105
7.1.1 牛头刨床的组成 (Constitution of Shaping Machine)	105
7.1.2 牛头刨床的传动系统及机构调整 (Transmission System and Structure Adjustment of Shaping Machine)	106
7.1.3 刨刀及其装夹 (Planer Tool and Clamping)	107
7.1.4 工件安装方法 (Clamping Method of Workpiece)	107
7.1.5 刨削的基本操作 (Basic Operation of Planing)	108
7.2 龙门刨床 (Planing Machine)	110
7.3 插床 (Slotting Machine)	111
【思考题】 (Thinking Questions)	111
第8章 铣削加工 (Milling)	112
8.1 概述 (Summary)	112
8.2 铣床及铣刀 (Milling Machine and Milling Cutter)	113
8.3 常用铣床附件及应用 (Common Accessory of Milling Machine and Application)	116
8.4 铣削的基本操作 (Basic Operation of Milling)	119
【操作训练】 (Operation Training)	126
【安全技术】 (Security Technology)	128
【思考题】 (Thinking Questions)	129
【创新案例】 (Innovation Case)	130
第9章 磨削加工 (Grinding)	131
9.1 磨床 (Grinder)	131
9.1.1 外圆磨床 (Cylindrical Grinder)	131
9.1.2 内圆磨床 (Internal Grinder)	132
9.1.3 平面磨床 (Surface Grinder)	133
9.1.4 无心外圆磨床 (Centreless Cylindrical Grinder)	134

9.2 砂轮 (Grinding Wheel)	135
9.2.1 砂轮的磨削原理及特性 (Grinding Principle and Characteristic of Grinding Wheel)	135
9.2.2 砂轮的安装及修整 (Installation and Maintenance of Grinding Wheel)	136
9.3 磨削的基本操作 (Basic Operation of Grinding)	137
9.3.1 磨外圆 (Cylindrical Grinding)	137
9.3.2 磨内圆 (Internal Grinding)	138
9.3.3 磨圆锥面 (Taper Surface Grinding)	139
9.3.4 磨平面 (Flat Surface Grinding)	139
【操作训练】 (Operation Training)	140
【安全技术】 (Security Technology)	142
【思考题】 (Thinking Questions)	143
【创新案例】 (Innovation Case)	143
第10章 镗削加工和拉削加工 (Boring and Broaching)	145
10.1 镗削加工 (Boring)	145
10.2 拉削加工 (Broaching)	146
10.2.1 拉孔 (Hole Broaching)	146
10.2.2 拉平面 (Surface Broaching)	147
【思考题】 (Thinking Questions)	148
第11章 钳工 (Benchwork)	149
11.1 概述 (Summary)	149
11.2 划线 (Lineation)	150
【操作训练】 (Operation Training)	153
【安全技术】 (Security Technology)	153
11.3 锯削 (Sawing)	154
【操作训练】 (Operation Training)	155
【安全技术】 (Security Technology)	156
11.4 锉削 (Filing)	156
【操作训练】 (Operation Training)	156
【安全技术】 (Security Technology)	157
11.5 钻削 (Drilling)	157
【操作训练】 (Operation Training)	159
【安全技术】 (Security Technology)	159
11.6 攻螺纹和套螺纹 (Tapping and Thread Die Cutting)	159
【操作训练】 (Operation Training)	161
【安全技术】 (Security Technology)	161
11.7 錾削与刮削 (Chipping and Scraping)	162
【操作训练】 (Operation Training)	163
【安全技术】 (Security Technology)	164

11.8 装配与拆卸 (Assembling and Disassembling)	165
【操作训练】(Operation Training)	165
【安全技术】(Security Technology)	166
【思考题】(Thinking Questions)	166

第三篇 数控与特种加工技术 (CNC and Non-Traditional Machining Technology)

第12章 数控加工编程基础 (Basic Knowledge of CNC-Working Programming)	167
12.1 数控机床及其组成 (CNC-Machine Tool and Its Constitution)	167
12.1.1 数控机床简介 (Introduction to CNC-Machine Tool)	167
12.1.2 数控机床的组成 (Constitution of CNC-Machine Tool)	167
12.2 数控机床的特点和应用 (Application and Character of CNC-Machine Tool)	168
12.2.1 数控机床与普通机床的区别 (Difference Between CNC-Machine Tool and Common Machine Tool)	168
12.2.2 数控机床的特点 (Character of CNC-Machine Tool)	169
12.2.3 数控机床的应用范围 (Application Field of CNC-Machine Tool)	170
12.2.4 数控机床的分类 (Type of CNC-Machine Tool)	170
12.3 数控加工工艺设计 (Process Planning of CNC-Working)	170
12.4 数控机床坐标系 (Coordinate System of CNC-Machine Tool)	171
12.4.1 机床坐标系 (Machine Coordinate System)	171
12.4.2 编程坐标系 (Programming Coordinate System)	173
12.4.3 加工坐标系 (Machining Coordinate System)	174
12.5 数控编程的种类 (Types of CNC Programming)	174
12.5.1 手工编程的步骤 (Step of Manual Programming)	174
12.5.2 自动编程 (Automatic Programming)	174
12.6 数控车床 (CNC Lathe)	174
12.6.1 数控车削的基本特征与加工范围 (Basic Character and Processing Range of CNC Turning)	174
12.6.2 数控车床的结构 (Composition of CNC Lathe)	175
12.6.3 数控车床的加工对象 (Processing Object of CNC Lathe)	175
12.7 数控铣床 (CNC Milling Machine)	175
12.7.1 数控铣床的加工对象 (Processing Object of CNC Milling Machine)	176
12.7.2 数控铣床的类型 (Type of CNC Milling Machine)	177
12.8 加工中心 (Machining Center)	177
12.8.1 加工中心的特点 (Character of Machining Center)	177
12.8.2 加工中心的用途 (Application of Machining Center)	177
12.8.3 加工中心的结构 (Composition of Machining Center)	178
12.8.4 自动换刀装置 (Automatic Tool Changer)	178
12.8.5 加工中心的加工对象 (Processing Object of Machining Center)	179

第 13 章 数控车床编程 (Programming of CNC Lathe)	180
13.1 数控车床的坐标系 (Coordinate System of CNC Lathe)	180
13.1.1 坐标系 (Coordinate System)	180
13.1.2 坐标系的设定 (coordinate System Setting)	180
13.1.3 数控车床的三个零点 (Three Zeros of CNC Lathe)	181
13.2 数控车床的编程规则 (Programming Rule of CNC Lathe)	182
13.2.1 CNC 程序结构 (Structure of CNC Program)	182
13.2.2 G 准备功能 (G-Preparation Function)	182
13.2.3 辅助功能指令 (Auxiliary Function Instruction)	185
13.3 刀具的选择及对刀点、换刀点的确定 (Tool Selection and Determination of Adjusted Cutter Point and Tool-Change Point)	185
13.3.1 刀具的选择 (Tool Selection)	185
13.3.2 对刀点、换刀点的确定 (Determination of Adjusted Cutter Point and Tool-Change Point)	186
13.4 数控车床对刀步骤 (Tool Setting steps of CNC Lathe)	187
13.5 数控车床的手工编程及加工步骤 (Manual Programming and Machining Step of CNC Lathe)	187
13.5.1 手工编程 (Manual Programming)	187
13.5.2 数控车床的加工步骤 (Machining step of CNC Lathe)	188
13.6 数控车床操作举例 (Practical Example for CNC Lathe)	188
【思考题】(Thinking Questions)	189
第 14 章 数控铣床、加工中心及自动编程 (CNC-Milling Machine, Machining Center and Automatic Programming)	193
14.1 数控铣床、加工中心的坐标系 (Coordinate System of CNC-Milling Machine and Machining Center)	193
14.1.1 数控铣床、加工中心的坐标系的建立 (Coordinate System Establishing of CNC-Milling Machine and Machining Center)	193
14.1.2 工件坐标系 (Workpiece Coordinate System)	194
14.1.3 工件坐标系设定指令 (Setting Instruction of Workpiece Coordinate System)	194
14.2 常用功能的编程 (Programming of Common Function)	195
14.2.1 尺寸系统的编程方法 (Programming of Dimension System)	195
14.2.2 刀具功能 T、主轴转速功能 S 和进给功能 F (Function of Tool (T), Function of Shaft Rotation (S) and Function of Feeding Movement (F))	196
14.2.3 常用的辅助功能 (Auxiliary Functions Commonly Used)	196
14.2.4 运动路径控制指令的编程 (Programming of Motion Path Control Instruction)	197
14.2.5 刀具补偿指令及其编程 (Cutter Compensation Instruction and Its Programming)	201
14.2.6 固定循环与子程序 (Canned Cycle and Subprogram)	202
14.3 编程实例 (Practical Example for Programming)	204

14.4 CAD/CAM 自动编程 (CAD/CAM Automatic Programming)	207
14.4.1 CAD/CAM 自动编程软件简介 (Introduction to CAD/CAM Automatic Programming Software)	208
14.4.2 CAD/CAM 自动编程软件应用实例 (Practical Examples for CAD/CAM Automatic Programming Software)	210
【思考题】(Thinking Questions)	220
第 15 章 特种加工 (Non-Traditional Machining)	223
15.1 电火花加工 (Electrical Discharge Machining)	223
15.1.1 电火花加工的原理 (Principle of Electrical Discharge Machining)	223
15.1.2 电火花加工的特点 (Character of Electrical Discharge Machining)	224
15.1.3 电火花加工的应用范围 (Application Field of Electrical Discharge Machining)	224
15.1.4 电火花线切割加工的基本原理 (Basic Principle of Wire Electrical Discharge Machining)	225
15.1.5 电火花线切割加工的主要特点 (Main Character of Wire Electrical Discharge Machining)	226
15.1.6 高速走丝电火花线切割加工机床的组成 (Constitution of High-Speed Wire Electro-Discharge Machine (HS-WEDM))	226
15.1.7 数控电火花线切割加工编程 (Programming of CNC Wire Electrical Discharge Machining)	228
15.1.8 手工编程 (Manual Programming)	228
15.1.9 计算机辅助编程 (Computer Aided Programming)	232
15.1.10 编程系统的基本操作实例 (Basic Practical Example for Programming System)	233
15.1.11 扫描仪输入方式编程 (Input Mode Programming of Scanner)	237
15.2 电解加工 (Electro Chemical Machining)	237
15.2.1 电解加工的原理 (Principle of Electrochemical Machining)	238
15.2.2 电解加工的特点 (Character of Electrochemical Machining)	239
15.2.3 电解加工的应用 (Application of Electrochemical Machining)	239
15.3 超声波加工 (Ultrasonic Machining)	239
15.3.1 超声波加工的原理 (Principle of Ultra Sonic Machining)	240
15.3.2 超声波加工的特点 (Character of Ultrasonic Machining)	240
15.3.3 超声波加工的应用 (Application of Ultrasonic Machining)	241
15.4 高能束加工 (High Energy Beam Machining)	242
15.4.1 激光加工 (Laser Beam Machining)	242
15.4.2 电子束和离子束加工 (Electron Beam and Ion Beam Machining)	244
【操作训练】(Operation Training)	246
【思考题】(Thinking Questions)	247
参考文献	248

第一篇 工程材料及热加工成形技术

(Engineering Materials and Hot Processing Technology)

第 1 章 工程材料及热处理

(Engineering Materials and Heat Treatment)

1.1 概述 (Summary)

1. 工程材料的分类

用于机械制造的工程材料分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料是最主要的工程材料，主要包括：黑色金属，即铁和以铁为基体的合金，例如钢、铸铁等；有色金属，即非铁金属及合金，例如铜及其合金、铝及其合金等。非金属材料是指除金属材料以外的材料，主要包括：无机材料，例如陶瓷、玻璃等；有机材料，例如塑料、橡胶等。

金属材料的机械性能（也称力学性能）是机械零件设计和选材的重要依据，通常有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度及钢材的焊接性等指标。

2. 常用金属材料

(1) 钢 工业上将碳的质量分数低于 2.11% 的铁和碳的合金称为钢。在钢中特意加入一种或几种合金元素后的钢称为合金钢。钢的分类方法很多，其中按用途可分为结构钢、工具钢、特殊钢和专业用钢。部分常用钢的牌号、性能及用途见表 1-1。

表 1-1 部分常用钢的牌号、性能及用途

名 称	牌 号	牌 号 含 义	性 能	用 途
碳素结构钢	Q235	冠以“屈”字汉语拼音的首位字母 Q，后面数字表示钢的屈服强度值（MPa）。必要时标出质量等级和脱氧方法	具有良好的塑性、韧性和焊接性、冲压性能以及一定的强度和良好的冷弯性能	广泛用于制造一般要求的机械零件和焊接结构，如连杆、销、轴、螺钉、螺母、钢结构等
优质碳素结构钢	45	数字表示钢中碳的质量分数的平均万分数	高强度中碳调质钢，综合力学性能良好，淬透性低，水淬时易产生裂纹。小型件宜采用调质处理，大型件宜采用正火处理	主要用于制造强度高的运动零件，如压缩机活塞、轴、齿轮、齿条、蜗杆等，通常在调质或正火状态使用，可代替渗碳钢制造耐磨零件
	45Mn	数字含义同 45，Mn 的质量分数为 0.7% ~ 1%	比 45 钢性能好	用于制造较大负荷及承受磨损工作条件的零件，如花键轴

(续)

名 称	牌 号	牌 号 含 义	性 能	用 途
合金结构钢	40Cr	数字含义同 45，化学符号表示钢中所加合金元素	经调质处理后，具有良好的综合力学性能、低温冲击韧性及低的缺口敏感性，淬透性良好，冷弯塑性中等；正火或调质后可加工性好，但焊接性不好，易产生裂纹，一般在调质状态下使用	使用最广泛的钢种之一，用来制造中速、中载零件，如齿轮、轴、花键轴、主轴、曲轴、心轴等，经淬火及低温回火后制造重载、低温冲击、耐磨零件，如主轴、蜗杆等
碳素工具钢	T10	T 为“碳”字汉语拼音首位字母，数字为钢中碳的质量分数的名义千分数	韧性好，强度高，耐磨性好，但热硬性低，淬透性低，淬火变形大	制造切削条件较差、耐磨性较高、且不受强烈振动、要求韧性和锋利的工具，如钻头、丝锥、车刀、铣刀等

(2) 铸铁 它是碳的质量分数大于 2.11% 并含有硅、锰和少量磷、硫等杂质的铁碳合金。铸铁具有良好的铸造性、切削加工性、减振性、减磨性以及低的缺口敏感性，且成本低，多用于制造壳体类及形状复杂的零件。根据碳在铸铁中存在的形式及石墨形态的不同，铸铁分为灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁等。部分常用铸铁的牌号、性能及用途见表 1-2。

表 1-2 部分常用铸铁的牌号、性能及用途

名 称	牌 号	牌 号 含 义	性 能	用 途
灰铸铁	HT200	HT 为“灰铁”两字汉语拼音首位字母，数字表示抗拉强度值（MPa）	抗拉强度、塑性、韧性低，抗压强度、硬度及耐磨性好	用于制造机床床身、手轮、箱体底座等
球墨铸铁	QT500-7	QT 为“球铁”两字汉语拼音首位字母，其后面两组数字分别表示抗拉强度值（MPa）和断后伸长率（%）	具有中等强度与塑性，可加工性好	用于制造内燃机油泵齿轮、传动轴、链轮、飞轮、电动机架等
蠕墨铸铁	RuT420	RuT 为“蠕”字的汉语拼音和“铁”字的汉语拼音首位字母，数字含义同灰铸铁	强度高、硬度高、耐磨性好、热导率高	用于制造活塞环、气缸套、制动盘、吸淤泵体等
可锻铸铁	KTH300-6	KT 为“可铁”两字汉语拼音首位字母，H 为“黑”字汉语拼音首位字母，数字含义同球墨铸铁	有一定的韧性和适度的强度，气密性好	用于制造管道配件、中低压阀门等

(3) 铜合金和铝合金 它们是用来制造导热、耐腐蚀、耐磨等特殊要求的有色金属合金。

铜合金具有良好的导电性、导热性和无磁性等物理化学性能，良好的加工性能及某些特殊的力学性能。按照化学成分及外观色泽特点分为黄铜、青铜和白铜。机械工程中常用的是黄铜和青铜。

铝合金具有密度小、强度不比钢材低、低温冲击韧性好、耐腐蚀等优点，也有弹性模量小、线膨胀系数高、焊接性比较差、疲劳强度低、价格贵等缺点。铝合金常用于航空工业和用于制造需要降低自重的形状复杂铸件。

3. 常用非金属材料及其他材料

(1) 塑料 它是在常温下具有较高强度和刚性的高分子聚合物材料。按用途分为通用塑料、工程塑料和特殊塑料。通用塑料性能一般,但产量大、价格低,在日常生活用品、包装材料和受力不大的小型机械零件上使用,常用的有聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯稀、聚丙烯、酚醛和氨基塑料;工程塑料是具有优良性能的塑料,一般具有较高的强度、耐热性、尺寸稳定性和抗老化性,是一类新型结构材料,但产量较少、价格较高,可代替金属在电器、机械、化工等行业制造零件。常用的有聚甲醛、聚碳酸酯等;特殊塑料是具有某些特殊性能的塑料,如耐热、高的电绝缘性、耐腐蚀塑料以及专用改性塑料、导热塑料、导磁塑料等,一般价格较高,主要用在国防工业和高端技术中。

(2) 橡胶 它是在常温下具有很高弹性的高分子聚合物。橡胶可分为天然橡胶和合成橡胶两大类。橡胶的主要特点是弹性很好,受力时能产生 100% ~ 1000% 的弹性变形,还具有很好的耐磨性、气密性、耐蚀性和电绝缘性,但耐臭氧性和耐辐射性较差。橡胶常用于制造轮胎、电缆包皮、气体和液体的输送管道及容器、弹性元件、减振元件、密封元件等。

(3) 复合材料 复合材料是用经过选择的含一定数量比的两种或两种以上的组分(或称组元),通过人工复合,组成多相、三维结合且各相之间有明显界面的、具有特殊性能的材料。这种材料一般是由高韧性、低强度、低模量的基体和高强度、高模量的增强组分组成。它的主要特点是,材料性能的可设计性,即根据使用要求选择需要的组分;材料与构件制造的一致性,即用复合材料制造的构件在材料复合的同时就已成形,多数构件不必进行如连接、切削等后加工;具有优异的物理化学性能,如轻质高强、耐化学腐蚀、抗疲劳性能好、减振性能好、减摩耐磨自润滑、绝缘、导电和导热、耐热性好等。但制造成本高、伸长率较低、抗冲击性能差、各向异性等。复合材料在机械制造中有很多应用,如纤维增强聚合物制造齿轮,碳纤维增强铜基等复合材料制造轴承、复合镀层,高分子复合材料制造耐磨机床导轨、复合材料密封件、制动件、板弹簧以及模具等。复合材料在汽车发动机上也得到广泛应用,如复合材料制造的气缸体、气缸盖罩、进气歧管、燃油系统零件、水泵叶轮、活塞、连杆等。

(4) 纳米材料 纳米是一个长度单位, $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ 。纳米材料是指在结构上具有纳米尺度调制特征的材料,纳米尺度一般界定为 $1 \sim 100\text{nm}$ 。当一种材料的结构进入纳米尺度特征范围时,其某个或某些性能会发生显著变化。纳米材料的特殊性能主要表现在以下几个方面:力学性能,例如陶瓷材料在通常情况下呈脆性,但由纳米超微粒压制成的纳米陶瓷却具有良好的韧性,再比如具有纳米结构特征的金属要比传统的粗晶粒金属硬 3 ~ 5 倍;磁学性能,研究表明小尺寸的纳米颗粒的磁性与大块材料显著不同,如纳米颗粒尺寸小于 6nm 时,材料呈现超顺磁性,利用这一特性制成的磁性液体对旋转轴进行动态密封效果十分理想;热学性能,其一是熔点降低,如粉末冶金工业中,在钨颗粒中掺加 0.1% ~ 0.5% (质量分数) 的超微粒镍后,可使烧结温度从 3000°C 降低到 $1200 \sim 1300^\circ\text{C}$,以致可在较低温度下烧制成大功率半导体管的基片,其二是在低温或超低温下,纳米粒子几乎没有热阻,如常温下超微粒氮化铝的热导率是大块氮化铝的 4 ~ 5 倍;光学性能,表现为宽频带、强吸收及新的发光现象等,可用于光反射材料、光通信、吸波隐身材料和红外传感器等;电学性能,纳米金属颗粒在低温下呈现绝缘性,可用来制作静电屏蔽材料(应用于家用电器和其他电器上);动力学特性,如纳米 Al_2O_3 具有良好的悬浮性,可制成高精度抛光液,用于高级光学玻璃、石英晶体及各种宝石的抛光。此外,在生物学、化学方面也有很重要的特性。

1.2 钢的热处理工艺 (Heat Treatment Process of Steel)

1. 钢的热处理概念及分类

(1) 钢的热处理概念 将钢在固态下进行加热、保温和冷却,使钢得到预期的组织和性能的一种工艺方法。

任何一种热处理工艺过程都包括加热、保温和冷却三个阶段,可用温度-时间曲线坐标图形表示,称为热处理工艺曲线,如图 1-1 所示。不同的热处理工艺,主要表现在加热温度的高低、保温时间的长短和冷却速度快慢的不同。

热处理与其他加工工艺方法(如铸造、锻压、焊接、切削加工等)不同,其目的是改变钢的组织与性能,不是改变钢件的外形及尺寸。

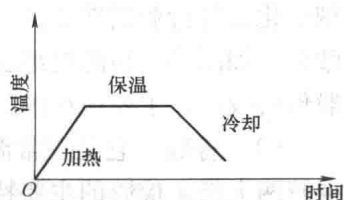


图 1-1 热处理工艺曲线

热处理在机械零件制造中占有重要的地位。例如,钢件毛坯在切削加工前,可以通过热处理降低其硬度,便于切削,加工成零件后又可以通过热处理提高其力学性能,使零件具有良好的使用性能和较长的使用寿命。因此,热处理在机械制造中用途极其广泛,工模具、量具和滚动轴承等全部需要热处理,汽车、拖拉机和各类机床上有 70% ~ 80% 的钢铁零件要进行热处理。

(2) 热处理的分类 根据加热、冷却方式的不同及组织性能变化特点的不同,钢的热处理可分为普通热处理、表面热处理和特殊热处理。其中,普通热处理工艺是生产中应用最广泛的热处理工艺。下面主要介绍普通热处理和表面热处理。

钢在加热或冷却过程中组织发生转变的温度称为临界点。钢的临界点是制订热处理工艺的重要依据之一。

2. 钢的普通热处理工艺

(1) 钢的退火 将钢加热到临界点以上某个温度,保温一段时间,然后缓慢冷却(一般随炉冷却或埋入导热性差的介质中冷却)的一种热处理工艺。

退火的主要目的是:降低钢的硬度,便于切削加工;消除内应力,以防止钢件的变形与开裂;改善组织,细化晶粒,以提高钢的力学性能;为淬火做好组织准备。

常用退火方法有以下几种。

1) 完全退火。将钢加热到组织完全转变成奥氏体(碳溶在 γ -Fe 中的间隙固溶体,强度、硬度不高,塑性、韧性很好)再升温 30 ~ 50℃ 并保温一段时间后缓慢冷却的热处理工艺。它主要用于亚共析钢的中小型铸件、锻件和热轧钢材以及亚共析钢的预备热处理。

2) 球化退火。球化退火是使钢中碳化物球化而进行的退火工艺。将钢加热到 AC_1 以上 20 ~ 30℃,保温一段时间,缓冷到略低于 AC_1 的温度,并保留一段时间使组织转变完成的工艺。它用于改善碳的质量分数大于 0.65% 的碳素工具钢、合金工具钢及轴承钢的组织,使钢中二次渗碳体球化,以降低硬度,改善切削加工性能,并为最后热处理做好准备。

3) 去应力退火。去应力退火又称低温退火。一般加热到 500 ~ 600℃,保温一段时间,然后随炉冷至 200 ~ 300℃ 以下出炉空冷。它用于铸锻件和焊接件,如车身、发动机缸体、变速器壳体;还用于高合金钢,主要是降低硬度,改善切削加工性能;对于高精度零件,为

消除切削后的应力, 稳定尺寸, 采用更低温度 (200 ~ 400℃) 长时间保温。

(2) 钢的正火 将钢加热到完全奥氏体状态, 保温一段时间后在空气中冷却的一种热处理工艺。

正火的目的是提高低碳钢的硬度, 改善切削加工性能; 细化晶粒, 改善组织, 为最后热处理做组织准备。

与退火相比, 正火的冷却速度快, 所以获得的组织较细, 其强度、硬度稍高, 塑性、韧性略有下降, 消除内应力不如退火彻底, 但生产周期短, 因此, 低、中碳钢常用正火替代退火, 但高碳钢和高碳合金钢不常采用 (避免发生马氏体转变) 正火。此外, 对于淬火返修件, 为了消除内应力和细化组织, 防止重淬时产生变形和开裂, 通常也先进行正火处理。

(3) 钢的淬火 淬火是将钢加热到临界点以上并保温一段时间, 然后放入冷却介质中快速冷却, 以得到马氏体组织的一种热处理工艺。由于马氏体具有高硬度 (高碳马氏体) 或高强度 (低碳马氏体), 经淬火可显著提高零件和工模具、量具的硬度及耐磨性, 所以, 几乎所有的工模具和重要零部件都需要进行淬火。因此, 淬火是钢强化最有效、最重要的热处理工艺。

钢的淬透性是评价钢淬火质量的一个重要指标。它是指在一定的冷却条件下淬火时, 钢获得马氏体组织深度的能力。经淬火后的钢, 只有其组织全部转变成马氏体才能获得明显的强化效果。一般地说, 碳素钢的淬透性较差, 合金钢的淬透性优于碳素钢。淬透性差的钢必须以极快的速度冷却才能获得马氏体, 而淬透性好的钢可在较缓慢的速度下冷却得到马氏体。零件截面尺寸也是影响淬透性的一个重要因素。

钢的淬火质量由淬火温度、冷却介质的冷却能力、零件浸入冷却介质中的方式和淬火方法决定。

1) 淬火温度的确定。各种钢的淬火温度主要依其组织的类型及临界点来确定, 一般为钢中组织全部转变成奥氏体的临界点以上 30 ~ 50℃。

对于亚共析钢, 如果淬火温度过高, 则将获得粗大的马氏体组织, 容易引起钢件较严重的变形与开裂。如果淬火温度低于临界点, 钢淬火后的组织除马氏体外还有其他组织 (铁素体), 因此会降低硬度。

对于过共析钢, 在此淬火温度下, 可获得均匀细小的马氏体和粒状渗碳体的混合组织。如果淬火温度过高, 将获得粗大马氏体组织, 淬火后钢中残留奥氏体增加, 降低钢的硬度和耐磨性。如果淬火温度低于临界点, 得不到马氏体组织。

2) 冷却介质的冷却能力。淬火要快冷才能获得马氏体。目前生产中常用的冷却介质是水 and 油。

水的冷却能力较强, 5% ~ 10% 食盐水或碱水冷却能力更强。常用于淬透性差的碳素钢的淬火。由于冷却速度较快, 易使零件产生内应力、变形和裂纹等缺陷。

油的冷却能力比水弱得多, 常用的有机油、锭子油、变压器油等。主要用于淬透性好的合金钢的淬火。

3) 零件浸入冷却介质中的方式。零件浸入冷却介质的方式影响零件冷却的均匀程度、内应力的大小、是否产生过大变形或裂纹。

一般来说, 对于截面不均匀的零件, 应将厚的部位先浸入; 截面不均匀的长形零件, 应倾斜浸入; 薄而扁平的零件 (如盘形铣刀), 应侧立垂直浸入; 细长的零件 (如轴、钻头