



SHIERWU PUTONG GAODENG YUANXIAO GUIHUA JIAOCAI

“十二五”普通高等院校规划教材

金工 实习

JINGONG SHIXI

主 编 邓 宇 叶家万 鲜洁宇



电子科技大学出版社



“十二五”普通高等院校规划教材

金工 实习

JINGONG SHIXI

主 审	林金忠		
主 编	邓 宇	叶家万	鲜浩宇
副主编	陈 隽	林福建	付 鹏
	吴传宇	刘自强	李 立
	张庆力	罗新文	聂时君
参 编	邹金荣	张一俊	何家荣
	冯旭强		



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金工实习/邓宇,叶家万,鲜洁宇主编. —成都:

电子科技大学出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5647-2748-2

I. ①金… II. ①邓… ②叶… ③鲜… III. ①金属加

工—实习—高等学校—教材 IV. ①TG—45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 281608 号

金 工 实 习

主 编 邓 宇 叶家万 鲜洁宇

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦
邮编: 610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 北京龙展印刷厂

成品尺寸: 185 mm×260mm 印张 13 字数 280 千字

版 次: 2015 年 1 月第一版

印 次: 2015 年 1 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2748-2

定 价: 28.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

本书根据教育部工程材料及机械制造基础课程指导小组制定的《金工实习教学基本要求》和《金工实习实施细则》，结合编者多年来金工实践教学的经验 and 体会编写而成。本书在内容上涵盖了现代机械制造工艺过程的主要知识，旨在全面提高高等院校学生的素质。本书可作为大学本科、专科机械类专业或近机械类专业的金工实习教材。

本书共四篇，第一篇工程实践基本知识；第二篇热加工，热加工主要内容包括：铸造、锻造和焊接；第三篇冷加工，冷加工主要内容包括车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削与镗削加工以及钳工；第四篇数控加工与现代制造技术。

本书由邓宇、叶家万及鲜浩宇主编，邓宇负责全书的统稿，林福建、吴传宇负责校稿。参加本书编写的有：广东石油化工学院邓宇（第一章、第九章第一节～第四节）、叶家万（第五章第一节～第二节、第七章），南京农业大学鲜浩宇（负责本书配套实训报告编写），西安石油大学陈隽（第四章、第六章、第八章），南京师范大学林福建（第二章），福建农林大学吴传宇（第三章），云南农业大学罗新文（第十章第四节～第六节），中国海洋大学张庆力（第十章第一节～第三节），江西农业大学付鹏（第九章第五节～第九节），江西萍乡学院李立（第五章第三节～第五节），湖南人文科技学院刘自强、聂时君（第十一章），广东石油化工学院的邹金荣、张一俊、何家荣、冯旭强老师也参编了本书。

本书由莆田学院林金忠主审，并提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示感谢。

本书在编写过程中，得到了很多高校同行的帮助和支持，在此表示最诚挚的感谢！受经验、水平和时间的限制，书中难免存在不妥之处，真诚希望各位读者对本书中错误、缺点和不足之处提出批评和建议。

编 者

2014 年 11 月

目 录

第一篇 金工实习基本知识

第一章 金工实习的基本知识	2
第一节 概述	2
第二节 产品的质量与开发	3
第三节 工程材料	5
第四节 钢的热处理	8
第五节 切削加工基本知识	10

第二篇 热 加 工

第二章 铸造	18
第一节 概述	18
第二节 砂型铸造	19
第三节 铸造合金的熔炼、浇注与清理	33
第四节 铸件的质量检验与缺陷分析	35
第五节 特种铸造	37
第六节 铸造技术的新发展	41
第三章 锻压	43
第一节 概述	43
第二节 锻坯的加热和锻件的冷却	43
第三节 锻压方法	47
第四节 特种锻压	57
第五节 锻压生产与环境保护	60
第六节 锻压技术的新发展	60
第四章 焊接	62
第一节 概述	62

第二节	常用焊接方法	62
第三节	其它焊接方法与特种焊接	72
第四节	焊接技术的新发展	76

第三篇 冷 加 工

第五章	车削加工	80
第一节	概述	80
第二节	车床	81
第三节	车刀	90
第四节	车削安全生产规程	94
第五节	车削加工方法	95
第六章	铣削加工	106
第一节	概述	106
第二节	铣床	107
第三节	铣刀	111
第四节	铣削加工方法	113
第七章	刨削加工	117
第一节	概述	117
第二节	刨床	117
第三节	刨刀	122
第四节	刨削加工方法	123
第八章	磨削与镗削加工	126
第一节	磨削加工	126
第二节	镗削加工	132
第九章	钳工	134
第一节	概述	134
第二节	划线	134
第三节	錾削	138
第四节	锯削	141
第五节	锉削	144
第六节	钻削	147
第七节	攻螺纹与套螺纹	151
第八节	刮削与研磨	152
第九节	装配	156

第四篇 数控加工与现代制造技术

第十章 数控加工	162
第一节 概述	162
第二节 数控机床	162
第三节 数控编程	167
第四节 数控加工方法	178
第五节 数控加工中心	183
第六节 数控机床的发展	184
第十一章 现代制造技术	187
第一节 概述	187
第二节 特种加工	188
第三节 柔性制造系统与计算机集成制造系统	193
第四节 快速原型制造技术	197
第五节 表面工程技术	198
参考文献	200

第一篇

金工实习基本知识

第一章 金工实习的基本知识

第一节 概 述

金工实习是对高等工科各专业进行工程教育的第一步，是引导学生进入工程殿堂的基础，是促使学生了解工程科学、探知工程奥秘的原动力。金工实习教育的目的是培养学生的工程意识、工程素质和工程创新能力，其充分体现了基础性、实践性和制造性的特点。由于制造业是为工程提供装备的基础行业，是提供精良设备、先进手段的领先行业，金工实习以此为切入点，具有较好的教育共性。

制造是人类借助于手工或工具，运用所掌握的知识和技能，采用有效的方法，按所需目的将制造资源（物料、能源、设备工具、资金、技术、信息和人力等）转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品，并投放市场的全过程。制造活动往往形成一个系统，除加工过程外，同时还包括市场调研和预测、产品设计、选材和工艺设计、生产加工、质量保证、生产过程管理、营销、售后服务等产品生命周期内一系列相互联系的活动。

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体。机械制造业是为国民经济提供技术装备的工业部门，其技术水平的高低和发展速度在很大程度上决定着国民经济各部门的技术水平、质量水平和经济效益。

制造工程是指制造企业从最初按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。其主要职能是产品的设计、生产和营销。制造系统是制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个将制造资源转变为产品的有机整体。机械制造系统是由若干个加工工艺系统、工件输送和存储系统、质量监督和安全保障系统以及生产过程控制和生产管理系统等组成的较大的制造系统。

制造过程是制造系统从原材料投入生产开始到产品生产出来到交付使用的全过程。其主要组成如图 1-1 所示。

制造技术是完成制造活动所需一切手段的总和，是制造业的技术支柱。机械制造

技术是实现机械制造过程的最基本环节。在机械加工系统的物料流程中，材料的质量和性能是通过制造技术的实施而发生变化的。与此相应，机械加工的方法可分为材料成形法、材料去除法和材料累积法。

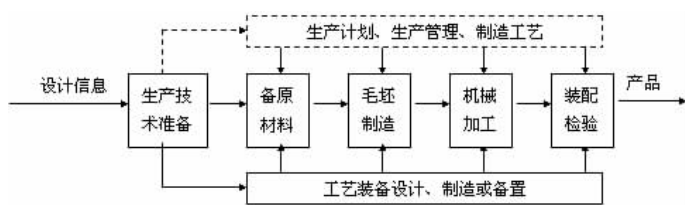


图 1-1 制造过程

材料成形法是将原材料转化成所需形状、尺寸的产品的加工方法。其主要用来制造毛坯，也可以用来制造形状复杂但精度要求不太高的零件。材料成形法主要有铸造、锻压、焊接和粉末冶金等加工方法。由于铸造、锻压、焊接等是在原材料的液态或塑性状态下进行加工的，因此又统称为热加工。材料去除法是用来提高零件的精度和降低表面粗糙度，以达到零件设计要求的加工方法。材料去除法主要分为传统的切削加工和特种加工。切削加工主要有车削、铣削、刨削、磨削、钻削、镗削、钳工等，由于它们是在金属材料的常温或弹性状态下进行加工的，因此又统称为冷加工。特种加工主要有电火花加工、电解加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工等。材料累积法是一种先进的制造技术，目前主要有快速原型制造技术。

第二节 产品的质量与开发

现代化工业生产的显著特点是专业化协作的高度社会化的大生产。实现社会化大生产的技术措施是产品应具有互换性及广泛的标准化。产品的互换性是指同一规格标准制成的合格零部件在尺寸和功能上具有相互替换的性能，是产品设计与制造的原则。对机械产品而言，互换性和精度是它的基本要求。

一、产品的质量

产品的质量是产品使用性能和寿命的根本保证，它主要取决于零件的加工质量和装配质量。

1. 零件的加工质量

零件的加工质量是指零件的加工精度和表面质量。加工精度是指加工后零件的尺寸、形状和位置等几何参数的实际数值与理想几何参数相符合的程度。相符合的程度越高，加工精度越高。加工精度可分为尺寸精度、形状精度和位置精度。表面质量是指加工后零件的表面粗糙度、表面层的冷变形强化程度、表面层残余应力的性质和大小以及表面层金相组织等。

尺寸精度是指零件的实际尺寸相对于理想尺寸的准确程度。它包括表面本身的尺寸和表面间的尺寸。尺寸精度的高低用尺寸公差等级或相应的公差值来表示。公差是指尺寸的变动范围。国家标准中将尺寸公差分为 20 级，即 IT01~IT18，精度依次降低，公差值依次增大。IT01~IT12 用于配合尺寸，IT13~IT18 用于非配合尺寸，常用的为 IT6~IT11，IT12~IT18 为未注公差等级。

形状精度是指零件上的线、面要素的实际形状相对于理想形状的准确程度。位置精度是指零件上的点、线、面要素的实际位置相对于理想位置的准确程度。形状精度和位置精度用形位公差来表示。国家标准中规定的控制零件形状公差的项目有 6 项，如直线度、平面度、圆度和圆柱度等。控制位置公差的项目有 8 项，如平行度、垂直度、同轴度、对称度和圆跳动等。

表面粗糙度是指零件表面的微观不平度。表面粗糙度是在毛坯制造或切削加工过程中形成的，将直接影响零件的配合性质、耐磨性及密封性。国家标准中规定了表面粗糙度的评定参数和评定参数的允许数值，最常用的是轮廓算术平均偏差 R_a ， R_a 值越大，表面越粗糙，反之表面越光滑。通常，粗加工（如粗车、粗铣、钻孔等）所能达到的 R_a 值大于 $12.5\mu\text{m}$ ，半精加工（如半精车、粗磨、铰孔、拉削等）后的 R_a 值为 $1.6\sim 6.3\mu\text{m}$ ，精加工（如精铰、刮削、精磨、精拉等）后的 R_a 值为 $0.2\sim 0.8\mu\text{m}$ ， R_a 值小于 $0.2\mu\text{m}$ 时则要用精密加工（精密磨削、研磨、抛光、镜面磨削等）。

2. 产品的装配质量

装配是机械制造过程的最后一个阶段，合格的零件通过合理的装配和调试，就可以获得良好的装配质量，从而保证产品的使用性能。

装配质量是靠装配精度保证的。装配精度主要指零、部件间的尺寸精度、位置精度和相对运动精度以及配合表面、接触表面和连接表面间的接触精度。

产品在推向市场的过程中，均需要经过设计、加工、装配、调试等环节。产品的质量与这些环节密切相关，最终都体现在产品的使用性能上。

二、产品的开发

现代企业应不断生产和提供新产品来满足消费者的需求，已成为现代市场经济条

件下企业在竞争中生存发展的基础。科学技术的进步和社会生产力的发展又使企业有能力改进产品性能、提高产品质量、降低产品成本，不断开发满足消费者新的需求和欲望的新产品。

任何产品都有一个产生、发展和消亡的过程，即产品具有一定的生命周期。产品的生命周期是指产品从进入市场进行营销到退出市场或被市场淘汰所经历的时间过程。随着科学技术的进步和市场经济的发展，使产品的生命周期愈来愈短，现代企业生产经营的重点已放在不断开发新产品上。

新产品通常是指在某些方面有改进或创新以及在市场上销售能满足消费者的需要，被消费者所购买的产品。新产品分为两类，一类为对市场是新产品，有全新产品、改进性新产品和市场再定位新产品；一类为对企业是新产品，有新产品线、填补性新产品和低成本新产品。

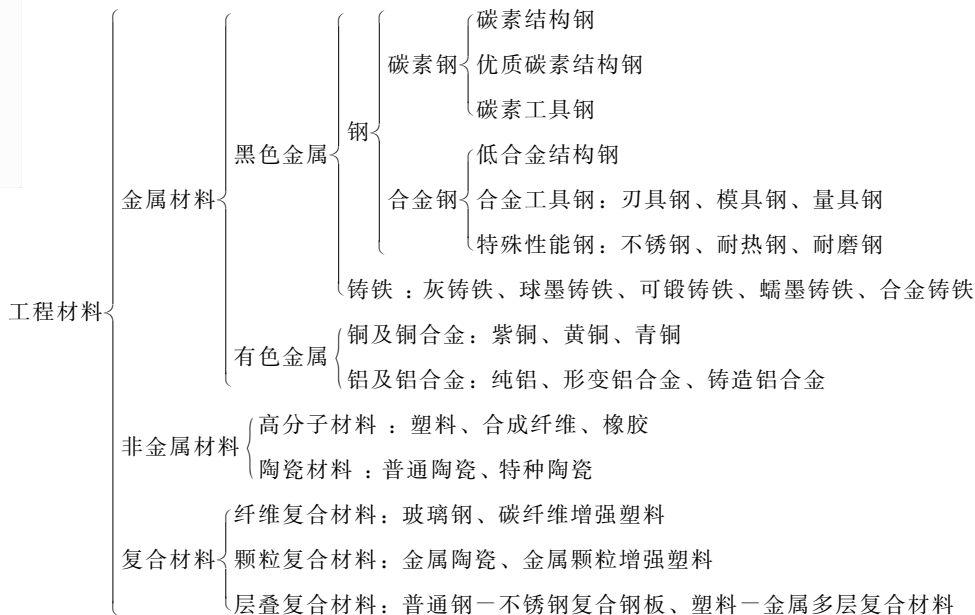
新产品的开发是一种创新，它是将发明（科技成果）转化为有效而实用的产品的创新，是在基础研究和应用研究成果的基础上，发展新产品、新系统、新工程的创新工程。在新产品的开发过程中，开发人员要在一个成功发明的基础上转化出经济可行的产品概念，设计人员依据产品概念对其零部件及整机、材料、成本、生产率和生产过程的特性全面考虑，设计出图样及文件，由生产及工艺人员生产出可供市场销售的产品，再由销售人员到市场销售。因此，新产品开发是包括研究、开发、设计、制造和市场营售在内的企业的系统创新活动，是发明的商品化，是把发明引入生产体系并为商品化生产服务的过程。新产品的开发过程可归结为：产品构思→产品概念→技术经济分析→产品与工艺设计→制定市场营售策略→产品试制→市场试销→商品化生产。

现代企业只有不断改进老产品，不断开发新产品，做到生产一代、储备一代、研制一代、构思一代，并逐步升档升级升价值，才能有效地分散企业经营风险，始终保持有良好的经济效益。

第三节 工 程 材 料

材料是人类一切生产活动和生活活动的物质基础，是人类发展和进步的标志。在当今社会，材料、能源和信息已成为现代科学技术的三大支柱。

工程材料是指制造工程结构和机器零件使用的材料总称。工程材料可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料。常用的工程材料归纳为：



一、金属材料

金属材料是现代制造中应用最广泛的工程材料，特别是钢铁材料的应用更为广泛。

1. 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。使用性能是指金属材料制成的零件或产品在使用过程中所表现出来的性能。它包括物理性能、化学性能和机械性能。工艺性能是指金属材料在加工过程中所表现出的难易程度。

金属材料的物理、化学性能主要有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、导磁性及耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。它与零件或产品的用途密切相关，对制造工艺也有影响。

金属材料的机械（力学）性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的性能，主要有强度、塑性、刚度、硬度、韧性和疲劳强度等。它是机械产品及零部件选材、设计的基本依据，对机械产品及零部件的性能、质量、加工的工艺性及成本有着重要影响。硬度是机械制造现场最经常使用的机械性能指标，用它可大致评价其他机械性能指标，且操作简单、成本低、不破坏产品零件。硬度值常用布氏硬度 HB（HBS 和 HBW）和洛氏硬度 HRC 表示。

金属材料的工艺性能一般包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。它决定着金属材料的加工制造工艺方法、设备工装、生产效率及成本效益，有时甚至会影响产品零件的设计。

2. 常用的钢铁材料

钢和铸铁是以铁、碳为主要成分的合金，又称铁碳合金。含碳量小于或等于 2.11% 的铁碳合金称为钢；含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。

碳素结构钢主要用于制造各种工程构件如桥梁、船舶、建筑用钢和机械零件如齿轮、轴、螺栓等。这类钢属于低碳钢（含碳量小于 0.25%）和中碳钢（含碳量为 0.25%~0.6%）。常用的牌号有 Q215、Q235 钢和 40、45 钢。

碳素工具钢主要用于制造各种刀具、模具、量具等。这类钢属于高碳钢（含碳量大于 0.6%）。常用的牌号有 T8、T10、T10A 和 T12 等。

合金结构钢主要用于制造承受载荷较大或截面尺寸大的重要机械零件。常用的牌号有低合金结构钢（Q345、Q390）、调质钢（40Cr、35 CrMo）、弹簧钢（65Mn、60Si2Mn）和滚动轴承钢（GCr15、GCr15SiMn）等。

合金工具钢主要用于制造各种刀具、模具、量具等。常用的牌号有刃具钢（9SiCr、CrWMn、W18Cr4V）、模具钢（Cr12、Cr12MoV、5CrMnMo）和用于制造量具的 CrWMn、GCr15 等。

特殊性能钢具有特殊的物理、化学性能，用于制造有特殊性能要求的零件。常用的牌号有不锈钢（1Cr18Ni9、2Cr13）、耐热钢（15CrMo、4Cr9Si2）等。

灰铸铁广泛用于制造各种承受压力和要求消振性好的床身、底座、箱体等。常用的牌号有 HT150、HT200、HT300 等。

球墨铸铁可代替碳素结构钢用于制造一些载荷较大、受力复杂的重要零件，如曲轴、连杆齿轮等。常用的牌号有 QT400-18、QT500-7、QT600-3、QT800-2 等。

二、非金属材料

非金属材料包括金属材料以外的几乎所有的材料，工程上常用的是高分子材料和陶瓷材料。

高分子材料在机械工业上应用广泛的是塑料和橡胶。塑料广泛用于工、农业和日常生活的各个方面，常制作工程结构、机器零件、工业容器和设备等，如齿轮、轴承、仪表外壳、把手、阀门和化工容器。橡胶广泛用于制作轮胎、动静态密封件（如旋转轴密封、管道接口密封件）、减震防震件（如机座减震垫片、汽车底盘橡胶弹簧）、传动件（如三角胶带、传动滚子）、运输胶带、管道、制动件和电线、电缆、电工绝缘材料等。

陶瓷是无机非金属材料，当前常用的制造工艺是粉末冶金法。陶瓷在机械工业中主要用于制造有耐高温、高耐磨、耐蚀等性能要求的零件，如内燃机火花塞、发动机

的叶片、切削高硬度材料的刀具等，也可用作绝缘材料、半导体材料和压电材料。

三、复合材料

复合材料是将两种或两种以上物理、化学性质及力学性能不同的材料，用人工的方法使其均匀结合而成的一种性能优良的材料。材料复合后，可改善和克服单一材料的弱点，充分发挥其优点，并能得到单一材料难以达到的性能和功能，因此它愈来愈引起人们的关注，应用也愈来愈广泛，成为一类新型的工程材料。

复合材料一般是由强度低、韧性好的材料作基体，由强度高、脆性大的材料作增强相组成的。常用的增强材料有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、金属颗粒、陶瓷颗粒、金属板片等，常用的基体材料有树脂（塑料）、橡胶、金属、陶瓷等。如玻璃钢是由玻璃纤维与树脂（塑料）复合成的；硬质合金是由金属碳化物粉末与金属粉末复合成的；双金属片是由黄铜片与铁片复合成的。

目前发展最快、应用最广的是纤维复合材料。

第四节 钢的热处理

钢的热处理是将钢在固态下通过加热、保温和冷却，使其组织改变而获得所需性能的工艺方法。热处理是改善材料工艺性能、提高其使用性能、保证产品质量、挖掘材料潜力不可缺少的工艺方法，被广泛地应用于机械制造中，既用于原材料、毛坯的预先热处理，又用于加工过程中的工序间热处理和产品零件的最终热处理。

热处理的工艺方法很多，可分为普通热处理和表面热处理两大类。

一、普通热处理

钢的普通热处理工艺中，最基本的是退火、正火、淬火与回火。

1. 退火

退火是将钢加热到一定温度，经充分保温后随炉缓慢冷却的热处理工艺。其目的是降低硬度、细化组织、消除内应力和某些铸锻焊热加工缺陷，为后续切削加工和热处理作工艺准备。

2. 正火

正火是将钢加热到一定温度，经充分保温后出炉空冷的热处理工艺。其目的是细化组织、消除组织缺陷和内应力、为后续切削加工和热处理作工艺准备。正火后可得到比退火时较高的强度和硬度，且生产率高、成本低，因此正火也可作为一些使用性能要求不高的中碳钢零件的最终热处理。

3. 淬火与回火

淬火是将钢加热到一定温度，经充分保温后快速冷却（水或油中）的热处理工艺。其目的是提高材料的硬度和耐磨性。但淬火钢的内应力大、脆性高、易变形和开裂，必须进行回火。

回火是将淬火钢加热到一定温度，经充分保温后冷却至室温的热处理工艺。按回火温度不同，可分为高温回火、中温回火和低温回火（如表 1-1 所示）。淬火钢经高温回火处理又称调质，经调质后的钢具有良好的综合机械性能，广泛地用于重要机械零件的热处理。

表 1-1 碳素钢常用的回火方法

回火方法	回火温度（℃）	硬度 HRC	机械性能特点	应用举例
低温回火	150～250	58～64	高硬度、高耐磨性	刀具、量具、冷冲模、滚动轴承
中温回火	350～450	35～50	高弹性和韧性	弹簧、热锻模具
高温回火	500～650	20～30	优良的综合机械性能	轴、齿轮、螺栓、连杆

各种热处理工艺如图 1-2 所示。

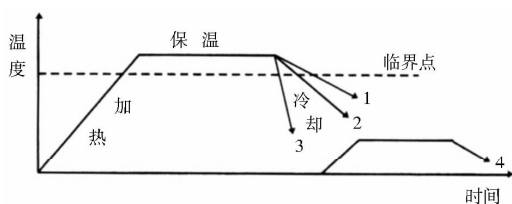


图 1-2 热处理工艺示意图

1—退火；2—正火；3—淬火；4—回火

二、表面热处理

表面热处理是将钢的表面进行热处理的工艺方法。其目的是使钢的表面层具有较高的硬度和耐磨性，而心部有较高的塑性和韧性。常用的表面热处理工艺有表面淬火和化学热处理。

表面淬火是一种局部淬火方法，目的是获得高硬度、高耐磨性的表层，而心部仍保持原有的良好韧性，常用于机床主轴、齿轮、发动机的曲轴等。表面淬火所采用的快速加热方法有电感应、火焰、电接触、激光等，目前应用最广的是电感应加热法。

化学热处理是通过改变钢的表面化学成分和组织而获得所需性能的表面热处理。化学热处理的种类很多，主要有渗碳、渗氮、碳氮共渗等，其中以渗碳应用最广。渗碳工艺可使工件具有外硬内韧的性能，主要用于既受强烈摩擦、又承受冲击或疲劳载荷的工件。如汽车的变速齿轮、活塞销、凸轮等。

热处理常用的加热设备是箱式电阻炉、井式电阻炉和盐浴炉；冷却设备有搅拌水槽、搅拌油槽、循环冷却液槽和盐浴槽等。加热炉的温度测控是通过热电偶、控温仪表系统和计算机温控系统实现的。目前计算机与自动控制在热处理及检测设备中的大量应用，不仅使单台设备和单一工序的热处理实现了计算机控制自动化生产，而且还形成了多道复杂的热处理工序、辅助工序及检测工序和多台设备集成的计算机集成热处理生产线，为各种金属材料提供了多种改性手段，满足了不同机械产品对零件性能的要求。

第五节 切削加工基本知识

切削加工是使用切削刀具将毛坯或工件上多余的材料层切除，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。切削加工可分为机械加工（简称机工）和钳工两大类。

机械加工是通过操纵机床来完成的切削加工，主要加工方法有车、钻、刨、铣、磨及齿轮加工等，所用机床相应为车床、钻床、刨床、铣床、磨床及齿轮加工机床等。它具有精度高、生产率高、劳动强度低等优点。通常所指的切削加工主要是指机械加工。

钳工是通过手持工具来进行的装配、维修或切削加工，常用的加工方法有划线、錾、锯、锉、刮研、钻孔、攻丝和套丝等。为减轻劳动强度和提高生产效率，钳工中的某些工作已逐步被机工代替，实现了机械化。

由于现代产品的精度和性能要求越来越高，对零件的加工质量也提出了更高的要求。目前除少数零件采用精密铸造、精密锻造或粉末冶金等成形外，绝大多数零件都需从毛坯经切削加工成形获得。因此，切削加工在机械制造业中占有十分重要的地位。