

● 机械工程类 ●



高等学校『十一五』
规划教材

机械制造基础 工程训练

(第2版)

马保吉 主编

西北工业大学出版社

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY PRESS

高等学校“十一五”规划教材

TG
44

2006

机械制造基础工程训练

(第2版)

主编 马保吉

主审 张君安

编者 马保吉 宁生科 李 蔚 侯志敏

江苏工业学院图书馆
藏书章

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是为了适应 21 世纪高级工程技术人才培养的要求以及高等工程教育课程体系深化改革的精神,在总结多年教学实践经验的基础上,借鉴各高等院校的教学经验编写的。

全书共 17 章,内容包括绪论,工程材料的基础知识,铸造,锻造,焊接与黏接,板料冲压,车削加工,铣削加工,刨削、拉削加工,磨削、光整加工与精密加工,钳工及装配,镗削及特形表面的加工,数控加工,特种加工,常用非金属材料的加工,机械制造工艺综合分析以及面向环境的设计制造等。

本书可作为高等学校文、理、工科类专业学生的工程训练教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础工程训练/马保吉主编.—2 版.—西安:西北工业大学出版社,2006.9
ISBN 7-5612-1697-1

I. 机… II. 马… III. 金属加工—实习—高等学校—教材 IV. TG45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 071590 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编 710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:19.75

字 数:474 千字

版 次:2006 年 9 月第 2 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定 价:27.00 元

教材编委会

主 任：王建华

副主任：范植坚 曹 岩

委 员：（以姓氏笔划为序）

马保吉 王玉林 王琨琦 刘 波

李 平 李福援 劳奇成 张君安

陈 桦 晋小莉 黄洪生

秘 书：赫东锋

出版说明

西安工业大学于 1955 年建校,是一所中央与地方共建,以陕西省管理为主的全日制普通高等学校。经过 50 多年的建设与发展,已经成为一所办学水平较高、办学规模较大、学科门类齐全的多科性普通高等学校。

在我国高等教育事业实现跨越式发展的同时,扩大规模和提高质量已成为高等教育发展的两大主题。而教材作为教学内容、教学方法和知识传播的有形载体和基本工具,能够适时地将学校办学水平、培养目标、质量标准等信息传递给学生。“十五”期间,学校立足自身定位,坚持教材建设研究,统一规划,加强管理,资助出版了多部特色教材,这些教材从体系到内容都充分体现了学校的办学定位和办学特色。

2006 年,为了适应社会和学校教育事业的发展,学校对办学指导思想进行了重新确定,进一步明确了办学定位、培养目标及服务方向。“十一五”期间,学校将在更新教育理念、提高办学水平、实现快速发展的思想指导下,坚持科学的教育发展观,围绕培养定位、培养模式、专业建设、课程改革等方面做大量的研究、探索和实践,并通过加强科学研究带动学科建设。为使这些教学研究改革及学科建设、科研成果及时得以固化并更好推广,我们将在系统调研、认真审阅的基础上,对已形成专著的研究内容规划整理成为适合教学的教材,并将工程实践中已获得应用的先进技术和内容提炼后纳入新编教材中,突出专业特色及学科建设成果,把教材建设目标和人才培养目标统一起来,从总体上提高人才培养质量,促进教学工作上台阶,促进培养目标的实现。

我校“十一五”规划出版的各学科系列教材,将全面系统地融入教学改革和科学研究的优秀成果,为各学科和专业发展奠定坚实的基础。我们衷心希望这些教材能对广大读者在夯实基础、强化素质、提高能力方面起到积极作用。

西安工业大学

教学工作委员会教材工作分会

2006 年 7 月

前言

在科技突飞猛进、知识日新月异的今天,工程手段日益丰富,工程范围不断扩大,学科间的相互渗透、相互交叉集中在知识的综合与整体化。经济全球化,特别是我国加入 WTO,面临着前所未有的挑战与机遇。因此,社会工程实践活动迫切要求工程技术人员不仅具备扎实的理论知识,同时更应具备相当程度的工程素质——工程实践能力、创新能力。懂业务、善管理,并具有较强市场意识、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、法律意识的应用型、复合型的工程人才的社会需求,成为促进高等教育教学改革,特别是工程教育实践改革与研究的源动力。

经济全球化进程的加快,客观上要求树立大系统、大工程的观念来重构高等工程教育的模式,强化实践锻炼和工程创新,培养出新型的工程技术人才。

20 世纪末,美国康奈尔、斯坦福、加州大学伯克利分校等 8 所大学联合进行了工程教育改革,其重要内容即是加强与工程实际的联系,重视工程实践,促进人才培养模式从科学型向工程型转变。高等工程教育的“工程化”或“回归工程”趋势已经成为国际高等工程教育的共同选择。

近年来,工程实践教育已引起我国高等教育界的广泛重视。国家教育部“新世纪高等教育教学改革工程”中,工程教育有 670 个项目,而 2000 年首先启动的便是“高等学校基础课程实验教学示范中心建设标准”。清华大学、华南理工大学等著名大学将香港理工大学工业中心及其工程训练作为楷模,耗巨资建设工程训练中心,充分体现了对工程实践和对实践性课程的高度重视。同时,我国基础工业落后,企业工程教育意识淡薄和培养能力弱的中国国情,也要求对现有的工程教育实行制度创新,探索有中国特色的高等工程教育模式。

在这样的工程训练现状、发展趋势和社会需求背景下,我们在总结多年教学实践经验的基础上,借鉴各高等院校的教学经验,编写了《机械制造基础工程训练》一书。这是一本适合于文、理、工科类学生工程训练课程教学的教材。



全书旨在体现以下特点:

(1) 在大工程的背景下培养学生的工程实践能力、创新意识、创业精神及综合素养,建立和培养学生工业系统、产品质量、企业效益、社会环境、全球市场和经营管理等方面的意识和能力。

(2) 形成覆盖机械、电子、控制、检测、环境、信息、土建、管理等学科完整的、各方面有机结合的实践教学体系。

(3) 理论教学与工程实践教学并行,贯穿于大学生的整个培养过程。有助于适应不同专业、不同层次人才培养的需求。

(4) 在内容上力求做到与时俱进,在精选常规技术内容的基础上,大幅度地增加了新材料、新技术和新工艺的内容,并适当增加工业技术和现代企业管理等内容,有利于学生正确处理技术与经济、技术与管理的关系,促进学生从知识积累向能力生成的转化。

(5) 力求图文并茂、深入浅出、文字简练、直观形象,以方便教学。

本书由马保吉教授主编,参加编写的有马保吉、宁生科、李蔚、侯志敏。本书承张君安教授主审,并提出了宝贵的意见,在此致以衷心的感谢。书中还参考了相关的教材和专著,在此对相关作者表示衷心的感谢。

由于编者的水平与经验有限,书中的缺点与错误请同行与读者批评指正。

编者

2006年7月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 制造系统与机械制造系统概述	1
第二节 机械制造基础工程训练的目的、任务和内容	5
第二章 工程材料的基础知识	8
第一节 概述	8
第二节 常用工程材料	8
第三节 热处理与表面处理	16
第三章 铸造	26
第一节 概述	26
第二节 砂型铸造	27
第三节 铸铁的熔炼及浇注	36
第四节 特种铸造	40
第五节 铸造新工艺、新技术简介	43
第四章 锻造	47
第一节 概述	47
第二节 金属的加热与锻件的冷却	47
第三节 自由锻造	51
第四节 锤上模锻和胎模锻	59
第五节 精密模锻、轧制、挤压和拉拔工艺	61
第六节 锻造新工艺、新技术简介	65
第五章 焊接与黏接	68
第一节 概述	68



第二节 手工电弧焊	69
第三节 气焊和气割	77
第四节 其他焊接方法	83
第五节 焊接新技术、新工艺简介	86
第六节 黏接	89
第六章 板料冲压	96
第一节 概述	96
第二节 冲压设备	96
第三节 冲压的基本工序	98
第四节 冲压模具	101
第五节 典型冲压件的工艺过程及质量分析	102
第六节 冲压新工艺、新技术简介	103
第七章 车削加工	108
第一节 概述	108
第二节 车床	109
第三节 车刀	117
第四节 车削时工件的装夹方式与车床附件	122
第五节 各种车削方法	126
第八章 铣削加工	144
第一节 概述	144
第二节 铣床及其附件	145
第三节 铣刀	149
第四节 铣削方法	151
第九章 刨削、拉削加工	155
第一节 概述	155
第二节 刨床	155
第三节 刨刀的安装与工件的装夹	157
第四节 刨削加工	159
第五节 拉削加工	161
第十章 磨削、光整加工与精密加工	165
第一节 概述	165



第二节 常用磨床及其组成	166
第三节 砂轮	173
第四节 磨削加工方法	175
第五节 光整加工	177
第六节 精密和超精密加工	180
第十一章 钳工及装配	186
第一节 概述	186
第二节 钳工常用器具	186
第三节 划线	189
第四节 锉削	193
第五节 锯割	197
第六节 钻孔、扩孔与铰孔	200
第七节 攻螺纹与套螺纹	203
第八节 刮削	205
第九节 装配	208
第十二章 镗削及特形表面的加工	212
第一节 镗削加工	212
第二节 特形表面的加工	215
第十三章 数控加工	225
第一节 概述	225
第二节 数控编程基础	228
第三节 数控车削加工编程	238
第四节 数控铣削	244
第十四章 特种加工	250
第一节 概述	250
第二节 电火花成形加工	252
第三节 电火花线切割加工	256
第四节 电解加工	260
第五节 激光加工	262
第六节 超声波加工	263
第十五章 常用非金属材料的加工	265
第一节 塑料的成形	265



第二节 工程陶瓷的成形.....	269
第三节 橡胶的成形.....	271
第四节 塑料的切削加工.....	273
第五节 工程陶瓷的切削加工.....	275
第十六章 机械制造工艺综合分析.....	278
第一节 金属材料及零件毛坯的选择.....	278
第二节 机械加工方法选择及其经济性分析.....	281
第三节 机械零件制造工艺的制定.....	285
第十七章 面向环境的设计制造.....	290
第一节 绿色设计.....	291
第二节 绿色材料.....	294
第三节 绿色工艺规划技术.....	296
第四节 绿色包装.....	297
第五节 绿色制造系统.....	299
参考文献.....	304

第一章 绪 论

第一节 制造系统与机械制造系统概述

一、制造与制造系统

什么是制造？什么是制造业？到目前为止，还没有关于这两个概念的统一定义。狭义上，一般将“制造”理解为产品的机械工艺过程或机械加工过程。例如，著名的朗文词典对“制造”（Manufacture）的解释为“通过机器进行（产品）制作或生产，特别是大批量生产（to make or produce by machinery, esp in large quantities）”。广义制造与狭义制造相比，“制造”的概念和内涵在“范围”和“过程”两个方面大大拓展。在范围方面，制造涉及的工业领域不局限于机械制造，而是涉及机械、电子、化工、轻工、食品、军工等国民经济的大量行业。在过程方面，广义制造不仅指具体的工艺过程，而且还包括市场分析、产品设计、生产工艺过程、装配检验、计划控制、销售服务和管理等产品整个生命周期的全过程。例如，国际生产工程学会（CIRP）在1983年给“制造”下的定义是：制造是制造企业中所涉及产品设计、物料选择、生产计划、生产、质量保证、经营管理、市场销售和服务等一系列相关活动和工作的总称。

综上所述，“制造”目前有两种理解：一是狭义制造概念，指产品的“制作过程”，可称为“小制造概念”，如机械加工过程；二是广义制造概念，指产品整个生命周期过程，又称为“大制造概念”。制造业从广义上理解，是将可用资源（包括能源）通过制造过程，转化为可供人们使用和利用的工业品或生活消费品的产业，它涉及国民经济的大量行业，如机械、电子、化工、食品、军工等等。

什么是制造系统？关于制造系统的定义，尚在发展和完善之中，至今还没有统一的定义。现列举国际上比较权威的几个定义作为参考。

英国著名学者帕纳比（Parnaby）1989年给出的定义为“制造系统是工艺、机器系统、人、组织结构、信息流、控制系统和计算机的集成组合，其目的在于取得产品制造的经济性和产品性能的国际竞争性。”

国际生产工程学会于1990年公布的制造系统的定义是“制造系统是制造业中形成制造生产（简称生产）的有机整体。在机电工程产业中，制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体化功能。”

美国麻省理工学院（MIT）教授 G. Chryssolouris 于1992年将制造系统定义为“制造系统是人、机器和装备以及物料流和信息流的一个组合体。”

国际著名制造系统工程专家、日本京都大学人见胜人教授于1994年指出：制造系统可从三个方面定义：①制造系统的结构方面：制造系统是一个包括人员、生产设施、物料加工设备和其他附属装置等各种硬件的统一整体；②制造系统的转变特性：制造系统可定义为生产要素的转变过程，特别是将原材料以最大生产率转变成为产品；③制造系统的过程方面：制造系统可

定义为生产的运行过程,包括计划、实施和控制。

综合上述几种定义,可将制造系统定义如下:制造过程及其所涉及的硬件,包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置,以及有关软件,包括制造理论、制造技术(制造工艺和制造方法等)和制造信息等组成了一个具有特定功能的有机整体,称之为制造系统。

制造系统的基本特性包括以下几个方面:

(1)集合性:制造系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素(或环节、子系统)所组成的集合体。它确定了制造系统的组成要素。

(2)相关性:制造系统内各要素是相互联系的。它说明了这些组成要素之间的关系,这种关系构成了制造系统的结构,而结构又决定了制造系统的性质。制造系统的基本结构体现为组织、技术和管理三方面。制造系统中任一要素与存在于该制造系统中的其他要素是互相关联和互相制约的。

(3)目的性:一个实际的制造系统是一个整体,要完成一定的制造任务,或者说要达到一个或多个目的,就是要把资源转变为财富或产品。

(4)环境适应性:一个具体的制造系统,必须具有对周围环境变化的适应性。外部环境的变化与系统是互相影响的,两者之间必然要进行物质、能量或信息的交换。制造系统应是具有动态适应性的系统,表现为以最少的代价和时间去适应变化的环境,使系统接近理想状态。

(5)动态性:制造系统的动态性主要表现在以下几个方面:

1)总是处于生产要素(原材料、能量、信息等)的不断输入和有形财富(产品)的不断输出这样一种动态过程中。

2)系统内部的全部硬件和软件也是处于不断的动态变化发展之中。

3)为适应生存的环境,总是处于不断发展、不断更新、不断完善的运动中。

(6)反馈特性:制造系统在运行过程中,其输出状态,如产品质量信息和制造资源利用状况总是不断地反馈回制造过程的各个环节中,从而实现产品生命周期中的不断调节、改进和优化。

(7)随机特性:制造系统中有很多随机因素,从而使制造系统的某些性质具有随机性。

二、机械制造系统

机械制造系统是一种典型的、具体的制造系统。其组成如图 1-1 所示。

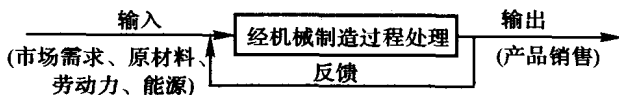


图 1-1 机械制造系统的组成

机械制造系统具有制造系统所具有的一切基本特性。图 1-2 表明机械制造过程是一个资源向产品或零件的转变过程。这个过程是不连续的(或称离散性),其系统状态是动态的,故机械制造系统是离散的动态系统。机械制造系统由机床、夹具、刀具、被加工工件、操作人员和加工工艺等组成。机械制造系统输入的是制造资源(毛坯或半成品、能源和劳动力),经过机械加工过程制成产品或零件输出。

图 1-3 为机械制造系统各个组成部分之间的关系图。

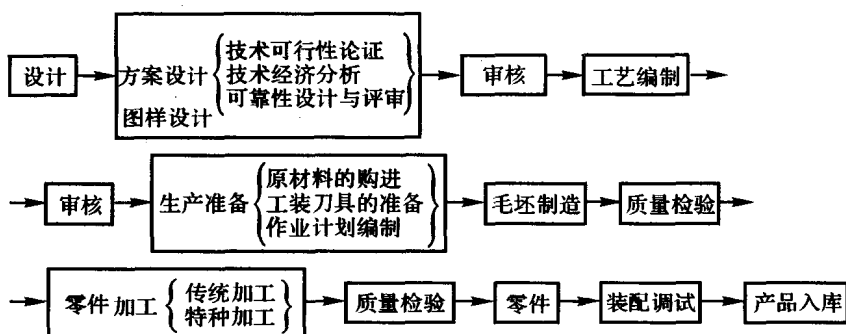


图 1-2 机械制造过程

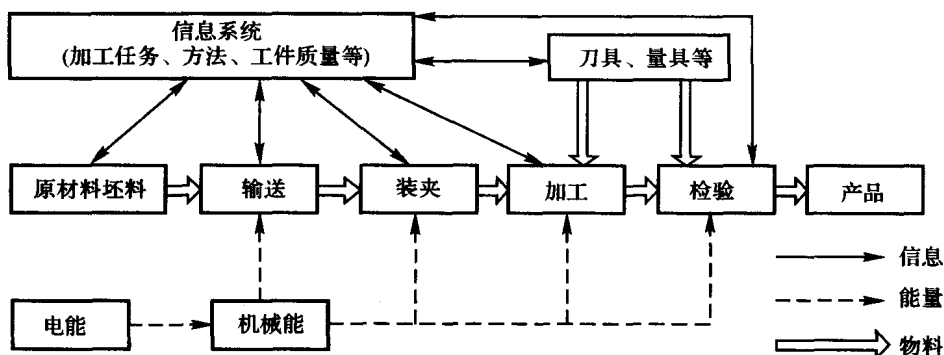


图 1-3 机械制造系统各个组成部分的关系图

图 1-3 所示的“三流”分别表示如下：

(1)物料流(物流)：机械加工系统输入的原材料或坯料(有时也包括半成品)及相应的刀具、量具、夹具、润滑油、切削液和其他辅助物料等,经过输送、装夹、加工检验等过程,最后输出半成品或成品(一般还伴随着切屑的输出)。整个加工过程(包括加工准备阶段)是物料输入和输出的动态过程,这种物料在机械加工系统中的运动被称为物流。

(2)信息流：在机械加工系统中,必须集成各个方面的信息,以保证机械加工过程的正常进行。这些信息主要包括加工任务、加工工序、加工方法、刀具状态、工件要求、质量指标和切削参数等。这些信息又可分为静态信息(如工件尺寸要求、公差大小等)和动态信息(如刀具磨损程度、机床故障状态等)。所有这些信息构成了机械加工过程的信息系统。这个系统不断地和机械加工过程的各种状态进行信息交换,从而有效地控制机械加工过程,以保证机械加工的效率 and 产品质量。这种信息在机械加工系统中的作用过程称为信息流。

(3)能量流：能量是一种物质运动的基础。机械加工系统是一个动态系统,其动态过程是机械加工过程中的各种运动过程。这个运动过程中的所有运动,特别是物料的运动,均需要能量来维持。来自机械加工系统外部的能量(一般是电能),多数转变为机械能。一部分机械能用以维持系统中的各种运动,另一部分通过传递、损耗而到达机械加工的切削区域,转变为分离金属的动能和势能。这种在机械加工过程中的能量运动称为能量流。

制造系统中的物流、信息流、能量流之间相互联系、相互影响,组成了一个不可分割的有



机整体。

在一段很长的时期里,人们习惯于孤立地、分别地研究机械制造中所涉及的各种问题。尽管在机床、工具和制造工艺等各个方面都取得了长足的进步,而且成功地应用于大批量生产,但在大幅度提高各种因素非常复杂的小批量生产的生产率方面,长时间未能取得大的突破。直至 20 世纪 60 年代末期,人们才逐步认识到,必须运用系统的观点来认识机械产品制造的全过程,将其视为系统,进而运用系统工程的理论和方法,根据制造系统的目的,从整体与部分,部分与部分,整体与外部环境之间的相互联系、相互作用与相互制约的关系中综合地、准确地分析和研究制造系统,才能获得技术先进、经济合理、效率高以及整体协调运转的最佳效果。

三、集成思想

集成的概念与系统的概念较相似。系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。实际上,集成一词早在人们熟知的集成电路出现时就已广泛应用于各个领域,只不过人们已经习惯地把那些范围较小的有机整体称为系统。如计算机辅助制造系统(CAM)等,而较少地站在整个企业的高度观察问题,将这些被称为系统的有机整体再次进行彼此之间的协调,而形成一个更大的有机整体,即一个更大的系统。为了突出在系统之间也需要形成有机整体,人们就使用了“集成”的概念。因此,集成的出现来源于企业的实际需求。它是系统概念的延伸,是组成更大规模系统的手段,它强调组成系统的各部分之间能彼此有机协调地工作,以发挥整体效益,达到整体优化的目的。

从集成的定义可以看出,集成绝不是将若干分离的部分简单地连接拼凑,而是通过信息集成,将原先没有联系或联系不紧密的各个组成部分有机地组合成为功能协调的、互相紧密联系的新系统。如将计算机辅助设计系统(CAD)与 CAM 集成,可以实现设计与制造的工程数据的信息共享,组成 CAD /CAM 系统;如果再将企业的管理信息系统(MIS)与 CAD /CAM 系统进行集成,可以实现商用数据和工程数据的信息共享等。

1. 集成的基本要求

集成的最终目的是使组成新系统的各子系统有机协调地工作,以发挥整体效益,达到整体优化,这种集成也称为系统集成。当然,每个分系统内部的集成也是一种小范围、小规模集成,但它是系统集成的基础,二者相互联系。因此,从制造企业的角度来看,要实现集成必须满足以下的基本要求:

(1)集成包括数控机床、自动化小车在内的各种加工设备,以及计算机等通信设备在内的部分或全部的硬件资源。

(2)集成包括系统软件、工具软件及应用软件在内的软件资源。

(3)在软硬件及网络的基础上,建立一个良好的企业信息模型,做到信息共享。

(4)企业各职能部门必须协调一致,使企业管理、技术和生产的三个主要职能紧密联系。

(5)强调集成过程中人的地位和作用。

2. 集成的方式

集成的方式有硬件集成、软件集成,数据和信息集成,管理、技术和生产等功能集成,以及人和组织机构的集成。其中硬件集成指在计算机网络系统的支撑下实现计算机上层与工厂底层执行设备的集成。软件集成是指系统软件(如操作系统等)、工具软件及应用软件之间的集成,即软件的异构问题。如果没有软件的集成,硬件的集成就会变得毫无意义。软件集成的关

键是选用的各类软件要尽可能符合国际统一标准和开放的要求。数据和信息集成作为系统集成的一个子集,它是对全企业的数据合理地规划和分布,避免不必要和有害的冗余数据。要做到信息共享,建立一个良好的信息模型是非常重要的。管理、技术和生产等功能集成是指工厂为完成战略目标,各职能部门统一协调一致地工作,作为管理、技术和生产的三个主要功能相互配合。而这些环节在未集成之前是彼此分离和相互脱节的。人和组织机构的集成是指充分提高人在企业中的地位。强调企业和供应商、顾客之间的良好合作,强调友好的人机界面和专家系统的引入。人是系统中最为重要和活跃的因素,已成为系统集成重点考虑的因素之一。

第二节 机械制造基础工程训练的目的、任务和内容

一、机械制造基础工程训练的目的和任务

机械制造基础工程训练是现代高等工程教育的重要组成部分。该训练的目标和定位为:满足本科生,特别是工科生基本工程训练和基础创新训练的需要,注重“基础、工程、训练和开放”的内涵,为大学生提供实实在在的工程背景,提供德育教育和综合素质教育的良好场所;着力培养学生的工程实践能力、综合工程素质、创新精神、创新思维和初步的创新能力;为后续的现代工程系统训练提供层面宽、内涵丰富、稳固扎实的“基础”支撑平台。

通过工程材料基础、材料成形与热处理、基本制造技术、数控加工基础等训练,使学生掌握基本操作技能,并培养安全意识、质量意识、环境意识及管理意识等在课堂上无法体会的工程意识。强调学生的实际动手训练,切实提高学生的工程素质和实际动手能力。

机械制造基础工程训练的教学目标是:学习工艺知识,增强工程实践能力,提高综合素质(包括工程素质),培养创新精神和创新能力。

这里的工程实践主要包含六个方面的内涵,即实践是内容最丰富的教科书;实践是实现创新最重要的源泉;实践是贯穿素质教育最好的课堂;实践是心理自我调节的一剂良药;实践是完成从简单到综合,从知识到能力,从聪明到智慧转化的催化剂。

工程意识是指责任意识、安全意识、群体意识、环保意识、创新意识、经济意识、管理意识、市场意识、竞争意识、法律意识和社会意识。

机械制造基础工程训练的主要任务包括以下六个方面:

(1)通过对机械制造一般过程的学习和实践,对典型工业产品的结构、设计、制造及过程管理有一个基本的、完整的体验和认识,了解机械制造的一般过程和基本知识。

(2)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,拓宽工程知识背景。

(3)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够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。

(4)熟悉工业企业中常用的检验和检测方法。

(5)充分利用实习工厂学、研、产结合的良好条件,培养学生的责任意识、安全意识、群体意识、环保意识、创新意识、经济意识、管理意识、市场意识、竞争意识、法律意识和社会意识等综合工程素质。

(6)培养学生初步的创新意识和创新能力。



二、机械制造基础工程训练的内容

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,工程训练的主要内容如下:

1. 毛坯制造

常用的毛坯制造方法有铸造、锻造与冲压、焊接与黏接。

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. 装配与调试

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,以检验其性能。只有整机调试合格后,方可装箱出厂。

另外,训练的内容还包括常用机械工程材料、热处理、零件表面处理等。

机械制造基础工程训练的内容体系如图 1-4 所示。