

高级技工学校教材

机床切削加工专业

机械制造 工艺学

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心 组织编写
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

中央广播电视大学出版社

高级技工学校教材

机械制造工艺学

(机床切削加工专业)

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组织编写

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心,全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写.-北京:中央广播电视大学出版社,2005.9

高级技工学校教材.机床切削加工专业

ISBN 978-7-304-03170-1

I.机… II.①劳… ②全… III.机械制造工艺-技工学校-教材 IV.TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第016506号

版权所有,翻印必究。

机械制造工艺学(机床切削加工专业)

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组织编写

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-58840200 总编室:010-68182524

网址:<http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路45号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

策划编辑:苏醒

封面设计:王容

责任编辑:冯欢

版式设计:张彦

责任印制:赵联生

责任校对:汪宝明

印刷:北京宏伟双华印刷有限公司 印数:3001~6000册

版本:2005年9月第1版 2013年1月第3次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:25.5

字数:580千字

书号:ISBN 978-7-304-03170-1

定价:43.80元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

高级技工学校教材

机电类专业编审工作委员会

主 任：陈 宇 郝广发

副主任：孙长庆 张永麟 杨黎明

委 员：(按姓氏笔画排序)

于 平 王 军 王兆山 王洪琳 王晓君

付志达 付元胜 冯振君 刘大力 刘亚琴

许炳鑫 孙国庆 李 涛 李长江 李木杰

李鸿仁 李超群 杨耀双 杨君伟 杨柳青

何阳春 张 斌 张仲民 张跃英 陈 蕾

林 青 林爱平 周学奎 单渭水 郝晶卉

赵杰士 贾恒旦 董桂桥 甄国令

《机械制造工艺学》编写人员

主 编：李 涛

主 审：黄晓明

编 者：李 涛 尹燕军 贾桂林 孙培民

茹常有 张 锋

序

为实施人才强国战略，加快高技能人才培养，劳动和社会保障部组织实施了国家高技能人才培养工程。为配合这项工程实施，我部委托中国就业培训技术指导中心、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会，组织专家编写了高级技工学校机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修 5 个专业的配套教材。

高级技工学校是我国培养高技能人才的重要基地。这次编写的 5 个专业的配套教材，是高级技工学校多年教学实践经验的积累和总结。教材依据《国家职业标准》和《高级技工学校专业教学计划》，瞄准经济发展对技能人才的要求，以职业技能为核心，注重教学内容的科学性、先进性和规范性，突出实践创新能力的培养。本套教材在编写中，特别注意了中、高级技能人才培养的衔接，教材的适用范围为具备中级职业资格水平的读者对象。本套教材同时可作为相关职业（工种）高级工、技师等企业职工培训教材，也可作为相关专业高职院校的课程教材，并且还可作为相关专业技术人员作为参考。

本套教材的编写得到了学校、企业等有关方面的大力支持，30 多所高级技工学校和企业的专家参加了教材的编审工作，付出了辛勤的劳动，在此向所有参与教材编审工作的同志和给予大力支持的学校、企业表示感谢。

劳动和社会保障部培训就业司

前 言

本教材是高级技工学校机床切削加工专业的使用教材,是根据劳动和社会保障部组织制定的《高级技工学校专业目录、教学计划》(试行)组织编写的。

本教材主要内容有机械加工精度、机械加工的表面质量、机床夹具设计基础、典型机床夹具、机床专用夹具设计方法、典型零件的工艺分析、机械产品装配工艺、特种加工工艺、制造技术的新发展等。

本教材编写力求理论联系实际,文字通俗易懂,内容深入浅出,图文并茂,并采用了现行的国家最新标准。各章相对独立,又有联系,可根据实际需要适当增减内容。教材的通用性较强,既可作为高级技工学校和职业技术学院机床切削加工专业的教材,也可作为高级工培训和工人自学用书。

全书由李涛主编,黄晓明审稿。本教材共 10 章,绪论和第一、二、三、七、八、九、十章由李涛、尹燕军、贾桂林编写,第四、五、六章由孙培民、茹常有、张锋编写。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免会有错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第一章 机械加工工艺规程的制定	3
第一节 基本概念	3
第二节 工艺规程概述	8
第三节 对零件的工艺分析	13
第四节 毛坯的选择	15
第五节 定位基准的选择	17
第六节 工艺路线的拟定	23
第七节 确定工序的具体内容	30
第八节 工艺尺寸链	38
第九节 工艺方案的技术经济分析	45
第十节 提高机械加工生产率的工艺措施	47
第二章 机械加工精度	52
第一节 加工精度的基本概念	52
第二节 影响加工精度的因素及其分析	53
第三节 提高加工精度的工艺措施	72
第四节 加工误差的综合分析	77
第三章 机械加工表面质量	90
第一节 概 述	90

第二节	影响表面粗糙度的工艺因素	91
第三节	影响表面层物理力学性能的因素	97
第四节	表面质量对零件使用性能的影响	100
第五节	机械加工中的振动简介	104
第六节	提高表面质量的工艺途径	110
第四章	机床夹具设计基础	117
第一节	机床夹具概论	117
第二节	工件的定位原理和定位元件	120
第三节	定位误差的分析和计算	140
第四节	工件的夹紧与分度	155
第五章	典型机床夹具	175
第一节	车床夹具	175
第二节	铣床夹具	184
第三节	钻床夹具	199
第四节	镗床夹具	215
第五节	组合夹具	232
第六节	数控机床夹具	240
第六章	机床专用夹具设计方法	251
第一节	夹具设计概述	251
第二节	夹具装配图的标注	256
第三节	夹具设计实例	264
第七章	典型零件加工工艺	274
第一节	轴类零件加工工艺	274

第二节 套筒类零件加工工艺	285
第三节 箱体类零件加工工艺	292
第四节 丝杠加工工艺	304
第五节 曲轴零件加工	310
第八章 机械装配工艺	316
第一节 概 述	316
第二节 装配尺寸链	320
第三节 保证装配精度的方法	325
第四节 装配的生产类型和组织形式	339
第五节 装配工艺规程的制定	341
第九章 特种加工工艺	348
第一节 特种加工概述	348
第二节 电火花加工	349
第三节 电解加工	354
第四节 激光加工	357
第五节 超声加工	359
第六节 其他特种加工	361
第十章 制造技术的新发展	365
第一节 成组技术及简介	365
第二节 计算机辅助制造系统 (CAM) 简介	373
第三节 柔性制造系统 (FMS) 简介	375
附 录	379
参考文献	395

绪 论

一、机械制造业在国民经济建设中的作用

不论是传统工业，还是现代工业，都离不开各种各样的机械设备。机械制造业所提供的装备水平对国民经济各部门的技术进步有很大的影响。机械制造业的规模和水平是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志。因此，许多国家都把发展机械制造业作为振兴和发展本国经济的战略重点之一。

我国的机械制造业，在机床及工具、仪表、轴承、汽车、重型机械、农业机械和国防工业等方面已具有相当的生产规模，初步形成了产品门类基本齐全、布局比较合理的机械制造业体系，不仅为国民经济各部门提供了必要的技术装备，还研制和生产出了一批具有世界先进水平的产品，一些产品已进入国际市场。

二、机械制造工艺学的研究与发展

机械制造工艺学是研究在机械制造中如何达到优质、高产、低消耗地生产和使用机械装备的原理和方法的科学。近代科学技术的高度发展，对各种机械设备的使用性能和制造精度要求越来越高。采用何种加工方式将各种材料制造成符合机械设备使用要求的零件，一直是机械制造业探索的课题。在这个探索过程中，不仅上述各类零件成型方式的技术水平会不断提高，加工工艺会逐渐完善，生产成本会进一步降低，而且更科学、更先进的零件加工方法也将不断涌现和推广。如各种少切削、无切削工艺的出现，已使愈来愈多的零件改变了传统的制造工艺，从而节省了大量金属材料，并大幅度地提高了生产率。特别是数控（NC）机床的出现，使机械制造工艺过程的自动化程度提高到一个新的阶段。加工中心（Machining Center）、柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）、计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）等的应用，不仅提高了机械制造业的生产率，而且还保证了产品质量，降低了生产成本。同时，由于计算机辅助编制工艺规程（Computer Aided Process Planning, CAPP）的推广，从根本上改变了依赖个人经验、人工编制工艺规程的落后状况，促进了工艺规程的标准化和最优化，提高了工艺设计质量。以计算机辅助设计和计算机辅助制造（CAD/CAM）为代表的计算机自动化生产系统的广泛应用，使自动化和精密加工技术高度发展，加工精度已接近极限，即加工误差小于 1nm，已经接近材料的原子晶格间距（0.2nm~0.4nm）。加工精度由 20 世纪初的 10 μ m 提高到目前的 0.001 μ m，即纳米（nm）级。加工单位将以原子或分子计。

工艺装备的选择或设计是否合理对零件加工的精度、表面质量、制造成本和生产率等至关重要。研究开发优质高效的加工工艺与装备，为新一代产品形成规模生产提供新工艺、

新装备,就必须加快基础技术研究,积极消化掌握引进技术,抓好技术开发、技术储备,提高自主开发能力。工艺水平包括工艺技术水平、装备水平、检测水平、操作水平和管理水平。对机械工业来讲,工艺水平最核心的是装备(包括检测装备)水平。因为工艺技术最终体现在装备上,高水平的技术装备还可以促进工艺管理水平的提高。这就进一步要求各级企业领导者、各类工程技术人员都要克服“重产品设计,轻制造工艺”的传统观念,要重视工艺人员的作用;还要造就一支数量庞大的高级技术工人队伍,因为许多企业的技术诀窍往往为高级技工所拥有,他们真正掌握着公司的技术要害,只有发挥他们的作用,才能使企业产品的质量得到保证。

机械制造工艺中的经济性与加工质量、生产率之间具有辩证关系,是一个综合性指标。在给定的生产对象和技术要求的条件下,选择什么工艺方法和什么样的工艺装备来生产,需要通过经济性分析和经济论证加以确定。为了提高产品的制造质量或者提高劳动生产率而采用某种新的工艺方法和措施时,还必须考察其所获得的经济效果如何。总之,需要全面地加以考虑。

如今,机械制造工艺学还远没有达到完善的境地,许多工艺规律需要我们去探索,许多新工艺方法需要我们去研究与开发。现代科学技术理论的发展,控制论、系统论、优化法的不断完善与推广应用,给机械制造工业的发展开辟了广阔的前景。如何将现代科学理论成果和现代技术的发展与机械制造结合起来,使机械制造工艺学朝着更科学化、系统化的方向发展,是摆在每一个机械制造工程技术人员面前一个值得研究的课题。

三、机械制造工艺学学习的任务及要求

机械制造工艺学是机械制造专业的一门主要专业课。通过本课程的教学过程(如课堂理论教学、现场教学等)及有关教学环节(如生产实习和课程设计等)的配合,使学生具有初步分析和解决影响加工精度与表面质量工艺问题的能力;对机械制造工艺规程的制订有一个完整的认识;具有正确选择、设计机械加工中所用的常见工艺装备的能力。

学习本课程的基本要求是:

- (1) 掌握零件加工精度和表面质量的基本概念及工艺措施。
- (2) 以机械制造工艺过程为主线,掌握选择毛坯、零件加工方法和工艺装备,确定零件加工工艺规程的基本知识。
- (3) 掌握常用机床专用夹具的结构及工作原理、设计方法的基本知识。
- (4) 掌握常见典型零件加工工艺特点及工艺过程分析。
- (5) 了解特种加工新工艺的基本知识。
- (6) 了解计算机辅助工艺及柔性制造系统的基本知识。
- (7) 了解装配工艺的基本知识及装配方法。

本课程知识面广、概念性强,与生产实践关系密切。教学中应配合一定的现场教学和电化教学,可适当安排一定的零件工艺分析和工艺过程拟定及专用夹具设计的综合练习,以便熟悉确定零件工艺规程的原则、步骤和方法,培养学生合理制定工艺规程的能力。

第一章 机械加工工艺规程的制定

第一节 基本概念

一、生产过程和工艺过程

(一) 生产过程

将原材料转变为成品的全过程称为生产过程。对于机械产品制造而言,其生产过程包括:

(1) 生产技术准备过程,即产品投入生产前的各项生产和技术准备工作。如产品设计、工艺规程的编制和专用工装设备的设计与制造,以及各种生产资料的准备和生产组织等工作。

(2) 毛坯制造过程,如铸造、锻造、焊接等。

(3) 零件的机械加工、热处理和其他表面处理等。

(4) 部件和产品的装配、调试、检验、油漆和包装等。

(5) 原材料、成品和半成品的运输与保管。

各种机械产品的具体制造方法和过程是不相同的,但生产过程大致可分为 3 个阶段,即毛坯制造、零件加工和产品装配。

生产过程可以指整台机器的制造过程,也可以指某一部件或零件的制造过程。一个工厂将进厂的原材料制成该厂产品的过程即为该厂的生产过程,它又可分为若干个车间的生产过程。某个车间的成品可能是另一个车间的原材料,如毛坯制造车间的成品是机加工车间的原材料,而机加工车间的成品又是装配车间的原材料。

(二) 工艺过程

所谓“工艺”,就是指制造产品的方法。工艺过程是生产过程的主要部分,是指生产过程中逐步改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性能等,使其成为成品或半成品的过程。它包括毛坯制造工艺过程、热处理工艺过程、机械加工工艺过程、装配工艺过程等。机械制造工艺就是各种机械制造方法和过程的总称。本章主要讨论机械加工工艺过程。

机械加工工艺过程是指利用机械加工方法,逐步改变毛坯的形状、尺寸、表面质量和材料性能,使之成为合格成品的全部过程。简称为机加工工艺过程。

机械加工工艺方法大致可分成切削加工(有屑)与无屑加工;常规工艺与先进工艺;一般机械加工与特种加工;冷加工与热加工;尺寸加工与表面加工等。

二、机械加工工艺过程的组成

要完成一个零件的工艺过程，需要采用多种不同的加工方法和设备，并通过一系列加工工序才能完成。每个工序又可分为若干个工步、走刀、安装和工位，毛坯依次通过这些工序转变为成品。

一个（或一组）工人，在一个工作地点（或一台机床上）对同一个零件（或一组零件）所连续完成的那一部分加工过程，称为工序。工序是工艺过程的基本单元，是生产计划和成本核算的依据。划分工序的主要依据是工作地点（或机床）是否变动和加工是否连续。例如，图 1-1 所示的阶梯轴，当加工数量较少时，其工序划分按表 1-1 进行，共有 4 道工序；当加工数量较多时，其工序划分按表 1-2 进行，共分为 6 道工序。

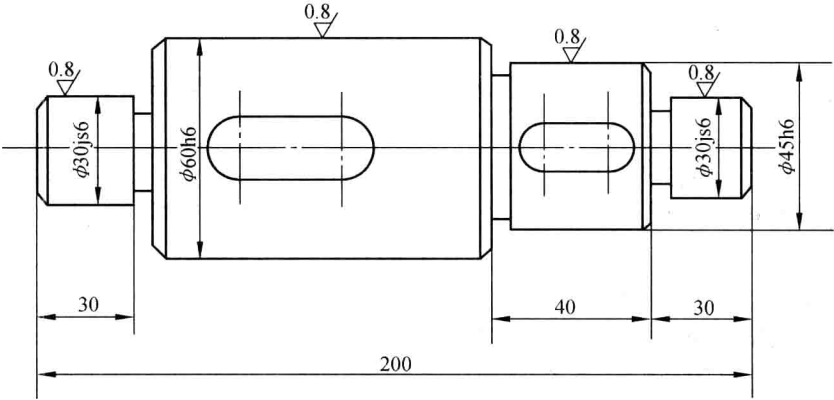


图 1-1 阶梯轴

表 1-1 单件小批生产的工艺过程

工序号	工作内容	设备
1	车端面，钻中心孔；车另一端面，钻中心孔	车床
2	车外圆，切槽和倒角，调头车另一端外圆，切槽和倒角	车床
3	铣键槽，去毛刺	铣床
4	磨外圆	磨床

表 1-2 大批大量生产的工艺过程

工序号	工作内容	设备
1	两边同时铣端面，钻中心孔	铣端面钻中心孔机床
2	车一端外圆，切槽和倒角	专用车床
3	车另一端外圆，切槽和倒角	专用车床
4	铣键槽	铣床
5	去毛刺	钳工台
6	磨外圆	磨床

在表 1-1 的工序 2 中, 先车一个工件的一端, 然后调头装夹, 再车另一端。如果先车好一批工件的一端, 然后调头再车这批工件的另一端, 这时对每个工件来说, 两端的加工已不连续, 所以即使在同一台车床上加工也算作两道工序。

(一) 工步

在加工表面(或装配时的连接表面)、切削(或装配)工具、切削用量中的进给量和切削速度不变的情况下, 所连续完成的那一部分工序称为工步。以上因素中任一因素改变后, 即为新的工步。一个工序可以只包括一个工步, 也可以包括几个工步。见表 1-1 中的工序 1, 因其加工 4 个表面, 所以有 4 个工步。表 1-2 中的工序 4 只有一个工步。但是, 对于在一次安装中连续进行的若干相同的工步, 通常算作一个工步, 如图 1-2 所示。如用一把钻头连续钻削 4 个同为 $\phi 15\text{mm}$ 的孔, 便认为是一个工步——钻 4- $\phi 15\text{mm}$ 孔。

为了提高生产率, 用几把不同刀具或复合刀具同时加工一个零件上几个表面的工步, 就是一个复合工步, 如图 1-3 所示。表 1-2 中的工序 1 铣端面、钻中心孔, 在专用的机床上用两把刀具同时铣两端面和钻两中心孔, 也是复合工步。

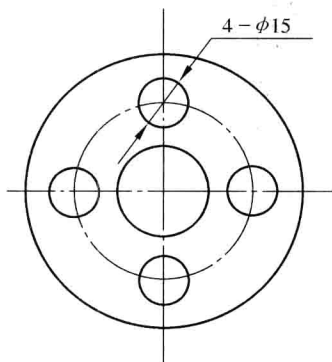


图 1-2 简化相同工步的实例

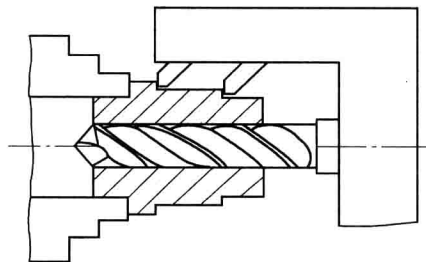


图 1-3 复合工步

(二) 走刀

在一个工步内, 如果被加工表面需切去的金属层很厚, 一次切削无法完成, 则应分几次切削, 每次切去一层金属的过程就是一次走刀。一个工步可以包括一次或几次走刀。

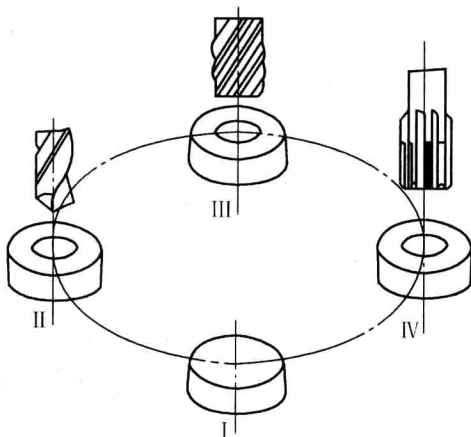
(三) 安装

将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程, 称为装夹。安装是指工件(或装配单元)经一次装夹后所完成的那一部分工序。定位是指工件在机床上或夹具中相对于刀具占据正确的位置。工件定位后, 为使其在加工过程中保持定位不变, 必须将它夹住或压紧, 称为

夹紧。正确的安装是保证工件加工精度的重要条件，在一个工序中，工件可能装夹一次，也可能需要装夹几次。表 1-1 中的工序 1 和工序 2 均有两次装夹，而表 1-2 中的工序只有一次装夹。但是，在零件加工时，应尽量减少装夹次数，因为装夹次数愈多，装夹误差也愈多，同时还增加了辅助时间。

(四) 工位

工件一次装夹后在机床上所占据的每一个待加工位置，称为工位。为了减少装夹次数，常采用回转夹具、回转工作台或其他移位夹具，使工件在一次装夹中先后处于几个不同的位置进行加工。如图 1-4 所示的多工位加工，利用回转工作台或可转位夹具，在一次装夹中顺次完成装卸工件、钻孔、扩孔、铰孔 4 个工位的加工。采用这种多工位加工的方法，可以提高加工精度和生产率。



工位 I—装卸工件 工位 II—钻孔 工位 III—扩孔 工位 IV—铰孔

图 1-4 多工位加工

三、生产纲领与生产类型

(一) 生产纲领

企业在计划期内应当生产的产品（或零件）数量或进度计划，称为生产纲领。通常也称年产量。零件制造工艺所采用的工艺方法和设备的先进性，一般取决于产品的生产纲领。

某产品零件的年生产纲领 N 可按下式计算：

$$N = Qn(1 + a\% + b\%) \quad (\text{件/年})$$

式中： Q ——产品的年产量（台/年）；

n ——每台产品中该零件的数量（件/台）；

$a\%$ ——备品率;
 $b\%$ ——废品率。

(二) 生产类型

生产类型是指企业（车间、工段、工作地）生产专业化程度的分类。一般分为单件小批生产、成批生产和大批大量生产 3 种类型。

一年中分批地制造相同的产品，工作地点的加工对象的周期性重复称为批量生产（或成批生产）。根据生产类型不同，无论是在生产组织、生产管理、车间布局，还是在毛坯、设备、工具、加工方法以及工人技术熟练程度等各方面，要求均有所不同。生产类型可根据生产纲领、产品及零件的特征或者按工作地点每月担负的工序数来划分，如表 1-3 所示。各种生产类型的工艺特点如表 1-4 所示。从表中可以看出，在制定零件的机械加工工艺规程时，应首先确定生产类型，根据不同生产类型的工艺特点，制定出合理的工艺规程。

表 1-3 生产类型的划分方法

生产类型	工作地点每月担负的工序数	产 品 年 产 量		
		重型（零件质量大于 2000kg）	中型（零件质量 100kg~2000kg）	轻型（零件质量小于 100kg）
单件生产	不作规定	<5	<20	<100
小批生产	>20~40	5~100	20~200	100~500
中批生产	>10~20	100~300	200~500	500~5000
大批生产	>1~10	300~1000	500~5000	5000~50000
大量生产	1	>1000	>5000	>50000

表 1-4 各种生产类型工艺过程的特点

特 点 工艺 过程	生产 类型	单 件 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
零件互换性		配对制造无互换生产,广泛使用钳工修配	普遍具有互换性,保留某些试配	全部互换,某些高精度配合件采用分组选择装配,配磨或配研
毛坯制造与加工余量		木模手工造型或自由锻造,毛坯精度低,加工余量大	部分用金属模或模锻,毛坯精度及加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻或其他高效方法,毛坯精度高,加工余量小
机床设备及布置		通用设备,按机群式布置	通用机床及部分高效专用机床,按零件类别分工段排列	广泛采用高效专用机床及自动机床,按流水线排列或采用自动线