

机械制造 工艺学

顾崇銓等 编著



陕西科学技术出版社

机械制造工艺学

(修订本)

顾崇銓等 编著

陕西科学技术出版社

机械制造工艺学

(修订本)

顾崇銓等 编著

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街131号)

国营五二三厂印刷

787×1092毫米 16开本 24印张 533千字

1987年1月第2版 1989年8月第3版第3次印刷

印数: 37,501—37,500

ISBN 7-5369-0312-X/TH·13

定价: 8.10 元

前 言

《机械制造工艺学》是机械制造工艺与设备专业的专业课教材。本书是参照目前试行的教学计划和教学大纲，结合教学工作的实践和科学研究的成果编写而成的。

为了有利于掌握本书的基本内容和突出教学中的重点，编写中力求各章、节的篇幅与所分配的学时数相适应，除第二章“典型零件加工工艺”供各院校结合具体情况，在下厂实习和进行现场教学时，可选用其中2~3个典型零件的加工工艺进行教学外，其余五章基本内容的教学时数，大体上适用于70学时左右的教学要求。并在一些非必读内容前加标了符号“*”，表示该部分内容可供课外阅读和学时数较多的院校教学中选用。

参加本书写作工作的有：顾崇銓、陈人亨、袁家骧、褚家麟、林志航、史逸芬、唐擷茹和黄协清同志。全书由顾崇銓和陈人亨同志负责审定。

本书初稿曾经我校和一些兄弟院校多年教学使用，作过多次修改和充实。潘德豫、龚定安、杨公仆、戴德沛、任孝华和万德安等同志先后参加过搜集素材、编写和修改初稿等工作。

另外，兄弟院校的同志们对本书编写工作也给予了大力支持，在此谨表感谢。

本书不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 著 者

于西安交通大学

1981年3月

761.91.101

本书第一版荣获

**中华人民共和国国家教育委员会
全国高等学校优秀教材奖**

[证书编号(88)国优0047号]

修 订 版 序

《机械制造工艺学》(修订版)是在1981年第一版经过五年多教学实践,并经全国高等工业学校机械制造(冷加工)类专业教材编审委员会《机械工艺》教编组1984年杭州会议评定的基础上,为适应新的教学改革的发展,对原书作了修订和调整工作。基本内容仍符合全国高等工业学校机械制造(冷加工)类专业教材编审委员会1982年所制订的《机械制造工艺学》教学大纲,主要特点是进一步突出了教学的基础内容,着重于对学生分析问题、解决问题的能力培养。精简了篇幅,以适用于60学时左右的教学要求。此外,还适当地增加了一些与专业发展有关的新内容,以供选用。本版的主要修订之处有:增写了“绪论”和“机械制造系统的新发展”,并将原第五章“提高劳动生产率的基本途径”改编入内,原第六章“机器装配工艺基础”改为第五章。

参加这次修订工作的有:顾崇銓(绪论、第三章)、陈人亨(第一章)、袁家骧(第五章)、林志航(第二章§2、§3)、史逸芬(第六章、第二章§4)、唐撷茹(第四章§1~§4)、黄协清(第四章§5~§7、第二章§1)。全书仍由顾崇銓、陈人亨和黄源镐负责审定。

本书修订工作中汲取了300余所兄弟院校使用后提供的建议,特致衷心的感谢。

编 著 者

1986年7月于西安

内 容 提 要

本书包括机械加工工艺规程制订与工艺尺寸链,典型零件加工工艺,机械加工精度与提高加工精度的途径,机械加工表面质量与机械加工振动,机器装配工艺基础与装配尺寸链,机械制造系统的新发展等六章。

结合多年来《机械制造工艺学》的教学实践和科学研究,反复精选教材内容,突出课程的基本理论,反映现代机械加工工艺的新发展,是本书的主要特点。本书内容精炼,由浅入深,理论阐述清晰,实例分析简明,适用于教学。

本书第一版(1981年出版)经全国许多院校使用后,并经全国高等工业学校机械制造(冷加工)类专业教材编审委员会机制工艺教材编审组评定,可供高等工业学校机械制造类专业作为教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

目 录

绪 论	(1)
第一章 机械加工工艺规程的制订	(4)
§ 1 机械加工工艺过程的基本概念	(4)
§ 2 工件的安装与获得尺寸的方法	(5)
§ 3 机械加工工艺规程的作用及其所需的原始资料与制订步骤	(7)
一、机械加工工艺规程的作用	(7)
二、制订机械加工工艺规程的原始资料	(8)
三、制订机械加工工艺过程的步骤	(10)
§ 4 制订机械加工工艺过程时要解决的主要问题	(13)
一、定位基准的选择	(13)
二、工艺路线的拟订	(18)
三、加工余量的确定	(25)
四、工艺尺寸的计算	(27)
§ 5 工艺尺寸链	(28)
一、工艺尺寸链的定义和特征	(29)
二、尺寸链的组成和尺寸链图的作法	(29)
三、尺寸链的基本计算式	(30)
四、几种工艺尺寸链的分析和解算	(33)
§ 6 工艺过程的技术经济分析及工艺文件	(43)
一、时间定额	(43)
二、工艺过程的技术经济分析	(44)
三、工艺文件	(47)
§ 7 制订机械加工工艺规程实例	
——车床主轴箱箱体工艺规程的制订	(50)
第二章 典型零件加工工艺	(59)
§ 1 车床主轴加工	(59)
一、主轴的功用及其主要技术条件的分析	(59)
二、主轴的材料及热处理	(62)
三、主轴的机械加工工艺过程	(64)
四、主轴机械加工工艺过程的分析	(66)
五、主轴的检验	(73)

§ 2 柴油机连杆加工	(74)
一、连杆的结构特点及其主要技术条件分析	(74)
二、连杆的机械加工工艺过程	(76)
三、连杆机械加工工艺过程分析	(84)
四、连杆的检验	(88)
五、大量生产时连杆的机械加工工艺路线	(88)
§ 3 铝活塞加工	(94)
一、活塞的工作条件及结构特点	(94)
二、活塞主要技术条件分析	(95)
三、活塞的材料及毛坯制造	(96)
四、铝活塞的机械加工工艺过程	(96)
五、铝活塞机械加工工艺过程分析	(96)
六、活塞的检验	(107)
§ 4 圆柱齿轮加工	(109)
一、齿轮的技术要求	(109)
二、齿轮的材料及毛坯制造	(111)
三、齿轮的热处理及其对加工质量的影响	(112)
四、齿轮的机械加工工艺过程	(114)
五、齿轮机械加工工艺过程分析	(118)
六、磨齿过程分析——超精密齿轮磨削实例	(126)
七、齿轮检验	(130)
第三章 机械加工精度	(132)
§ 1 加工精度的基本概念	(132)
§ 2 影响加工精度的因素及其分析	(132)
一、原理误差	(134)
二、机床误差	(135)
三、调整误差	(151)
四、工艺系统的受力变形	(152)
五、工艺系统的热变形	(174)
六、内应力引起的变形	(182)
§ 3 加工误差的综合分析	(185)
一、误差的性质	(185)
二、加工误差的统计分析法	(186)
§ 4 分析和解决加工误差问题的实例	(203)
一、车床尾架体镗孔精度问题	(203)
* 二、半自动内圆磨床定程磨削精度问题	(209)
§ 5 保证和提高加工精度的途径	(211)
一、听其自然, 因势利导, 直接消除或减小柔性工件受力变形的方	(211)

二、人为设误,相反相成,抵消受力变形和传动误差的方法.....	(215)
三、缩小范围,分别处理,分组控制定位误差的方法.....	(217)
四、创造条件,撇开干扰,变形转移和误差转移的方法.....	(219)
五、确保验收,把好最后一道关,“就地加工”达到最终精度的方法.....	(221)
六、有比较,才有鉴别,误差平均的方法.....	(222)
七、实时检测,动态补偿,偶件自动配制和温度积极控制的方法.....	(227)
第四章 机械加工的表面质量	(231)
§1 加工表面质量的基本概念.....	(231)
一、概 述.....	(231)
二、表面质量对零件使用性能的影响.....	(232)
§2 机械加工表面的粗糙度及其影响因素.....	(234)
一、切削加工后的表面粗糙度.....	(234)
二、磨削加工后的表面粗糙度.....	(237)
§3 机械加工后表面物理机械性能的变化.....	(238)
一、加工表面的冷作硬化.....	(239)
二、加工表面层的金相组织变化——热变质层.....	(239)
三、加工表面层的残余应力.....	(244)
§4 控制加工表面质量的途径.....	(247)
§5 机械加工中振动的基本概念.....	(253)
§6 机械加工中的强迫振动与抑制.....	(254)
一、振动系统的简化.....	(254)
二、激振力直接作用在质量块上的单自由度系统强迫振动.....	(255)
三、偏心质量引起的单自由度系统强迫振动.....	(260)
四、振动系统的动态刚度与动态柔度.....	(261)
五、减小强迫振动的基本途径.....	(262)
六、诊断与抑制强迫振动的实例.....	(263)
§7 机械加工中的自激振动与抑制.....	(265)
一、金属切削过程的自激振动原理.....	(265)
二、再生颤振原理.....	(266)
三、振型耦合颤振原理.....	(277)
*四、磨削加工的颤振现象.....	(280)
五、抑制机械加工中自激振动的途径与实例.....	(285)
*六、车床结构动态特性对加工表面轮廓形状影响的诊断实例.....	(289)
第五章 机器装配工艺基础	(292)
§1 机器装配生产类型及其特点.....	(292)
§2 达到装配精度的工艺方法.....	(293)
一、互换法.....	(294)
二、选配法.....	(295)

三、修配法.....	(297)
四、调整法.....	(298)
§ 3 装配尺寸链.....	(301)
一、装配尺寸链的基本概念.....	(302)
二、装配尺寸链的建立.....	(303)
三、角度尺寸链的特点.....	(306)
四、装配尺寸链的计算方法.....	(311)
五、装配尺寸链的解算实例.....	(317)
§ 4 装配工艺规程的制订.....	(326)
一、制订装配工艺规程的基本原则.....	(326)
二、装配工艺规程的内容、制订方法与步骤.....	(327)
第六章 机械制造系统的新发展.....	(334)
§ 1 机械制造系统的基本概念.....	(334)
一、机械制造系统的概念.....	(334)
二、机械制造系统的类型.....	(334)
§ 2 成组技术.....	(335)
一、发展成组技术的背景.....	(335)
二、成组技术的基本概念.....	(336)
三、成组技术的分类方法.....	(336)
四、成组加工的工艺准备工作.....	(338)
五、成组技术的生产组织形式.....	(339)
六、成组技术的优越性.....	(341)
§ 3 机械制造系统的优化.....	(342)
一、概述.....	(343)
二、单工序加工条件的优化.....	(344)
三、多工序加工条件的优化.....	(348)
§ 4 计算机辅助制造系统.....	(349)
一、计算机的分级结构.....	(349)
二、计算机在制造系统中的应用.....	(349)
三、计算机辅助制造的数据库.....	(352)
四、计算机辅助设计与计算机辅助制造一体化.....	(352)
§ 5 计算机辅助编制工艺规程.....	(353)
一、概述.....	(353)
二、软件系统的工作原理.....	(355)
三、对软件系统的基本要求.....	(356)
四、实例—ACAPS 系统.....	(356)
§ 6 计算机辅助编制数控程序.....	(359)
一、自动编程的概述.....	(359)

二、APT 与 EXAPT自动编程系统	(360)
§ 7 柔性制造系统	(361)
一、概述	(361)
二、自动化的加工设备	(365)
三、物料流系统	(365)
四、系统的信息控制	(366)
五、实例	(366)
主要参考资料	(369)

绪 论

一、机械制造工艺学的主要研究对象

我国社会主义现代化要求机械制造业为国民经济各部门和自身的技术改造提供先进的技术装备,包括:矿山、工程机械、冶金、轧制机械、发电设备、石油、天然气与化工机械、汽车、通用机械、农业、畜牧和农副产品加工机械、机床与工具、仪器与仪表、电工与电器、食品与包装机械、交通运输机械等方面(军工方面尚未列在内)。

为了加速技术进步,振兴机械工业,力争在1990以前,使机电产品的质量达到当代国际通用技术标准,主要产品能够适应国民经济各部门的发展,达到工业发达国家七十年代末八十年代初的技术水平,部分产品接近或赶上当时的国际水平。为了要使当前我国的机电产品质量差、品种少、水平低这个主要矛盾得到基本解决,必须大力发展机械制造工艺及装备技术,主要途径是依靠技术进步,机械工业部把它具体化为通过四个“技术”(技术开发、技术引进、技术推广和技术改造),狠抓三个“基础”(基础件、基础技术和基础机械),保证“三上一提高”(上质量、上品种、上水平、提高经济效益)。

任何一台机械产品都是由零件所组成,机械零件如轴、套、箱体、活塞、连杆、齿轮、螺杆、凸轮等,都来自不同材料经热加工制成的毛坯,经过机械加工(冷加工)达到图纸规定的结构几何形状和质量要求,然后经过组件、部件和整机装配而满足产品的性能要求。各种机械产品的用途和零件结构的差别虽然很大,但他们的制造工艺却有共同之处,从传统的专业划分来说,机械制造工艺学所研究的对象主要是机械零件的冷加工和装配工艺中具有共同性的规律,它是长期生产实践和科学研究成果的积累和总结。工艺工作对发展品种、保证和提高产品质量、提高生产率、节约能源和降低原材料消耗、取得更大的技术经济效益以及改善企业管理有着十分密切的关系。要解决好机械制造工艺问题,可以提纲挈领地应说应从“优质、高产、低消耗”(即质量、生产率、经济性)三个方面的指标来衡量。

要掌握零件制造过程中的共同性规律和解决具体工艺问题的知识和能力,其复杂性就不是一门课程所能解决的。对机制专业学生来说,毛坯的制造工艺是金属工艺学的范围;金属切削与磨削加工原理和加工过程中所用的刀具、磨料与磨具和机床则是切削原理及刀具和金属切削机床(包括概论、设计、电气与液压传动)课程的范围;毛坯与工件在机械加工过程中的材质控制则是金属学与热处理课程的范围;而零件的加工质量和装配质量的标准和检验则又和公差与技术测量课程密切相关。机械制造工艺学这门课程就是在上述一些课程的基础上的综合,组成全面地分析和运用到机械制造工艺流程的基本内容,形成机械制造工艺与设备专业的一门主要专业课程。

二、内容和任务

围绕机械制造工艺问题的三个指标,在本课程中安排相应的教学内容是必要的。

首先是加工质量。没有质量就没有数量,也就是谈不到生产率和经济性。从满足产品性能和耐用性而提出的零件加工质量要求有两个方面:加工精度和加工表面质量。前者包括了零件的尺寸精度、形状精度和位置精度;后者包括了零件表面的粗糙度、波度和物理、机械性能,国际上近年来称之为表面完整性。

规定零件的加工质量是产品设计人员的任务,而在最低成本下达到要求则是工艺人员的职责。随着科学技术的发展和国际市场竞争的白热化,以及采用国际标准的迫切性,我国机械工业对零件的加工质量要求也越来越高,机械工业部也已提出机械产品的加工精度要提高一到两级。因此,必须深入研究在加工过程中各种误差因素对加工质量影响的规律,同时需要通过大量的科学实验和生产实践,采用新工艺和改进工艺装备等措施来保证。在「质量第一」的方针指导下,加工精度和表面质量就成为本课程内容中很重要的两章。

其次,机械加工工艺中另两个指标是要求生产时消耗的物质、能源和劳动量要尽量地少,也就是生产率要高,生产成本要低,这就需要对多种工艺过程方案进行分析和比较,进行优化和抉择。

机械零件的装配是整个机械制造过程中的最后一个阶段,它包括了安装、调整、检验和试车等环节。近年来,在毛坯制造和机械加工方面实现了高度机械化和自动化以及新的工艺方法,大大地节省了人力和费用,相形之下装配工作在整台机械制造中的比重日益增大,所以装配工艺中同样存在着质量、生产率和经济性的指标要求。

机械制造中的质量、生产率和经济性三者具有密切的辩证关系和灵活性。在解决某一具体工艺问题时,需要全面地加以考虑。例如提高零件加工精度可以提高互换性,减少钳工修理的劳动量,但在采用新的工艺方法或装备时,必将牵涉到前后工序的平衡和机床的负荷率。又如改善零件的结构工艺性可在相同的生产条件和质量要求下提高了生产率,但又涉及毛坯制造工艺和原设计零件结构形状的修改,这就需要工艺部门和设计部门进行商讨和协调。

工艺部门在完成一台机械的零件加工和装配工艺过程的全面分析和方案比较、抉择以后,最终将以工艺文件(卡片)的方式填写下来,通常称为工艺规程,供生产准备和车间实施之用。为了培养担当这项任务的人才,机械制造工艺学的内容中就要阐明编制工艺规程的原则、步骤和方法,还要通过一些常见的典型零件在不同批量的生产纲领下举出活生生的例子,传授思考办法、分析途径和决策要点。

本课程中还应适当地介绍机械制造的新发展,运用系统的观点和计算机作为工具的前景,以开阔学生的眼界和思路,为后续的选修课穿针引线。

三、学习方法

如上所述,本课程既是机制专业的一门重要专业课程,又是综合多门先修课程知识应用到研究、解决生产实际工艺问题的归结性课程,在内容中反映了理论密切结合实

际、分析重于计算，贯串了质量、生产率和经济性的辩证关系，力图由浅入深，由表及里，强调科学分析、试验验证和择优决策的能力培养。所以在学习本课程时要铭记这门课程的任务和特点，在学习方法上需要相与适应。试回顾一下以往学习的过程中，从基础课到基础技术课、再从基础技术课到专业课确是经历过两次学习方法的调整。如果学习本课程时，在学习方法上再作一次新的调整，必将博得更多的收获。

最后要指出的是在学习本课程时必须重视实验、生产实习和现场教学等实践性环节。工艺学来自生产实际和科研实践，工艺工作者应善于发现问题，善于分析问题，提出关键之所在和有效的措施，其能量就是“为有源头活水来”，源头何在？就在于实践性环节，愿与辛勤学子共勉之！

第一章 机械加工工艺规程的制订

§ 1 机械加工工艺过程的基本概念

机器的生产过程包括从原材料转变到成品的全部过程。为了降低生产成本和有利于生产技术的发展,目前很多机器往往不是在一个工厂内单独生产,而是由许多专业工厂共同完成。

机器零件要经过毛坯制造、机械加工、热处理等阶段,才能变成成品。它通过的整个路线称为**工艺路线**(或**工艺流程**)。工艺路线是制订工艺过程和进行车间分工的重要依据。

工艺就是制造产品的方法。**机械制造工艺过程**一般是指零件的机械加工工艺过程和机器的装配工艺过程。本章只讨论机械加工工艺过程(以下简称**工艺过程**)的制订问题。

毛坯进入机械加工车间后,要依次在一些机床上进行加工。为了便于分析说明机械加工的情况和制订工艺过程,有必要细分为如下的组成部分:

1. 工序、工步和走刀

工序是组成工艺过程的基本单元。**工序**是指一个(或一组)工人,在一台机床(或一个工作地点),对一个(或同时对几个)工件所连续完成的那部分工艺过程。通常就把仅列出主要工序名称的简略工艺过程简称为**工艺路线**。

工步是在加工表面不变、切削工具不变、切削用量不变的条件下所连续完成的那部分工艺过程。

走刀是切削工具在加工表面上切削一次所完成的那部分工艺过程。

整个工艺过程由若干个工序组成。每一个工序可包括一个工步或几个工步。每一个工步通常包括一次走刀,也可包括几次走刀。

现在以图 1-1 所示的阶梯轴的加工为例来说明。若阶梯轴的精度和表面粗糙度要求不高,则加工这根阶梯轴的工艺过程将包含下列加工内容:①切一端面,②打中心孔,③切另一端面,④打中心孔,⑤车大外圆,⑥大外圆倒角,⑦车小外圆,⑧小外圆倒角,⑨铣键槽,⑩去毛刺。

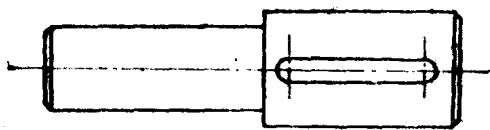


图 1-1 阶梯轴

随着车间加工条件和生产规模的不同,可以采用不同的方案来完成这个工件的加工。在表 1-1 及表 1-2 中分别表示在单件小批生产及大批大量生产中工序的划分和所用的机床。

表 1-1 单件小批生产的工艺过程

工序号	工 序 内 容	设 备
1	车一端面、打中心孔 调头车另一端面，打中心孔	车 床
2	车大外圆及倒角 调头车小外圆及倒角	车 床
3	铣 键 槽 去 毛 刺	铣 床

表 1-2 大批大量生产的工艺过程

工序号	工 序 内 容	设 备
1	铣端面，打中心孔	铣端面打中心孔机床
2	车大外圆及倒角	车 床
3	车小外圆及倒角	车 床
4	铣 键 槽	键槽铣床
5	去 毛 刺	钳 工 台

从表中可以看出，随着生产规模的不同，工序的划分及每一个工序所包含的加工内容是不同的。

在单件小批生产的工序 1 中，包括四个工步：两次车端面，两次打中心孔。分为四个工步的原因是加工表面变了。在工序 2 中也包括四个工步，这时加工表面和切削工具都变了。在大批大量生产中，工序 1 由于采用了两面同时加工的方法，所以只有两个工步。而车大、小外圆及倒角则分为两个工序，每个工序包括两个工步。

若在车小外圆时，由于毛坯余量过大，必须分两次切削，每次切削的工件转速、进给量及切削深度都相同（或切削深度大致相同），则切削一次就是一次走刀。在加工小外圆时，若一次是粗加工，一次是精加工，则因为工件转速、进给量及切削深度都不相同，刀具也不同，所以它们是两个工步。

另外，去毛刺的工作在单件小批生产中由铣工在加工后顺便进行。而在大批大量生产中，由于生产率较高，铣工忙于装卸工件及操作机床，因此必须另立一道工序，专门清除毛刺。

2. 安装和工位

采取一定的方法放准工件在机床上（或夹具中）的位置，使加工表面有适当的余量，并使加工表面与已加工表面之间、加工表面与不加工表面之间的尺寸、位置符合该工序的加工要求，称为**定位**。

工件在机床上（或夹具中）定位和夹紧的过程称为**安装**。在表 1-1 的工序 1 和 2 中都是两次安装，而在工序 3 中以及表 1-2 的各道工序中都是一次安装。

采用转位（或移位）夹具、回转工作台、或在多轴机床上加工时，工件在机床上安装后，要经过若干个位置依次进行加工，工件在机床上所占据的每一个位置上所完成的那部分工艺过程就称为**工位**。

§ 2 工件的安装与获得尺寸的方法

随着批量的不同、加工精度要求的不同、工件大小的不同，工件在安装中定位的方法也不同。

1. 直接找正定位的安装