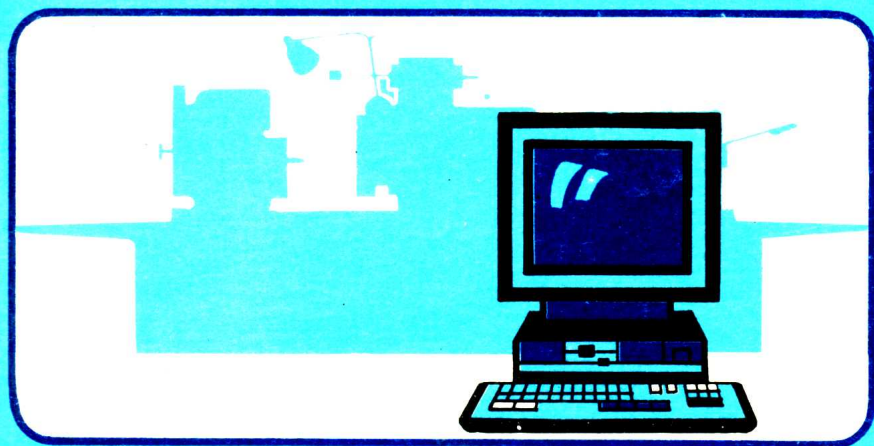


机械

制造工艺学



主 编：郑焕文 副主编：王宛山

东北工学院出版社

机械工业出版社

机 械 制 造 工 艺 学

郑 焕 文 主 编

王 宛 山 副 主 编

东 北 工 学 院 出 版 社

内 容 提 要

本书参照原机械工业部机械制造专业教材编审委员会推荐的教学大纲,并结合“机械制造工艺学”课的教学实践和科研成果而编写的。其主要内容包括:机械加工工艺规程的制订、典型零件加工、机械加工精度、机械加工的表面质量与振动、精密磨削与高效磨削、装配工艺、机床夹具设计等七章。全书均采用新国标。授课学时为 80~100 学时。

本书内容精炼,叙述简明,理论联系实际,深入浅出。既可供高等学校(普通高等院校、职工大学、函授大学、电视大学)机械制造工艺与设备专业作教材使用,也可供工厂、科研院所从事机械制造、机械设计工作的技术人员参考使用。

机 械 制 造 工 艺 学

主 编 郑焕文 副主编 王宛山

东北工学院出版社出版
(沈阳·南湖)

辽宁省新华书店发行
东北工学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 546 千字
1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷
印数: 1~5000 册

责任编辑: 马正元 崔华林 责任校对: 张德喜 孙铁军

ISBN 7-81006-068-6/TH·10
定价: 4.14 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。它是参照机械制造专业教材编审委员会推荐的教学大纲，并结合该课程的教学实践和科研成果而编写的。

为便于学生掌握本课程的基本内容和突出教学中的重点，在编写过程中力求各章、节篇幅与讲课学时数相适应。

《机械制造工艺学》是一门实践性很强的课程，教材的内容与编排顺序须与学生的实践基础相适应。为了使本课程与专业生产实习相互配合，我们建议：在生产实习前，需讲授第一章机械加工工艺规程的制订和第七章机床夹具设计的前二节，在生产实习过程中，根据实际情况讲授第二章典型零件加工。其中第七章机床夹具设计亦可做为专门课程单独讲授。

本书由东北工学院机制工艺教研室有关教师编写，郑焕文教授任主编，王宛山任副主编。其它分工如下：绪论——郑焕文、第一章——吴贵生、第二章——吴贵生、张春元、王宛山、第三章——张庆云、第四章——宋振武、第五章、第六章——王宛山、第七章——张春元。

本书由崔华林、马正元担任责任编辑工作，在编审工作中，对本书提出了很多修改和补充意见。王宛山同志做了较多组织工作。

对于本书不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

1987年7月

目 录

绪论

第一章 机械加工工艺规程的制订

§ 1-1 机械加工工艺过程的基本概念.....	(10)
一、生产过程.....	(10)
二、工艺过程.....	(10)
三、生产纲领和生产类型.....	(12)
§ 1-2 机械加工工艺规程.....	(13)
一、工艺规程的内容和作用.....	(13)
二、制订工艺规程的原始资料、原则和步骤.....	(14)
三、工艺文件.....	(14)
§ 1-3 机械加工工艺规程制订中的几个主要问题	(18)
一、零件图的工艺分析.....	(18)
二、零件毛坯的选择.....	(18)
三、工艺路线的拟定.....	(20)
四、工件的安装方法.....	(21)
五、基准及其分类.....	(22)
六、定位基准的选择.....	(23)
七、加工余量的确定.....	(27)
§ 1-4 工艺尺寸链	(30)
一、工艺尺寸链的基本概念.....	(31)
二、工艺尺寸链的计算公式.....	(32)
§ 1-5 工艺尺寸链的计算.....	(35)
一、工艺基准与设计基准重合时工艺尺寸及其公差计算.....	(35)
二、工艺基准与设计基准不重合时工艺尺寸及其公差计算.....	(36)
三、以尚需继续加工表面标注的工艺尺寸及其公差计算.....	(40)
四、保证表面应有的渗碳或渗氮层深度时的工艺尺寸及其公差计算.....	(41)
五、工序尺寸和工序间余量的图解法综合计算.....	(43)
§ 1-6 机械加工的生产效率与经济性分析	(47)
一、时间定额.....	(47)
二、工艺方案的经济性分析.....	(48)
§ 1-7 提高机械加工生产率工艺措施.....	(51)
一、缩减单件时间.....	(51)
二、高效及自动化加工.....	(54)
三、成组加工工艺.....	(55)

第二章 典型零件加工

§ 2-1 主轴加工	(61)
一、主轴的功用及其主要技术条件分析	(61)
二、主轴的材料、毛坯及热处理	(63)
三、主轴的加工工艺过程及其分析	(64)
四、主轴加工中的几个主要问题	(66)
§ 2-2 箱体加工	(74)
一、箱体零件的结构特点及技术条件分析	(74)
二、箱体的材料及毛坯	(77)
三、箱体机械加工工艺过程的分析	(78)
四、箱体加工重点工序分析	(80)
§ 2-3 圆柱齿轮加工	(84)
一、概述	(84)
二、齿轮的材料和毛坯	(86)
三、圆柱齿轮加工工艺	(87)
四、圆柱齿轮的齿形加工方法	(94)

第三章 机械加工精度

§ 3-1 加工精度的基本概念	(117)
一、加工精度的基本概念	(117)
二、获得加工精度的方法	(117)
三、加工误差的来源	(118)
§ 3-2 原理误差	(119)
§ 3-3 机床误差	(119)
一、移动部件的直线运动误差	(120)
二、主轴的回转误差	(121)
三、传动链误差	(128)
§ 3-4 工艺系统受力变形引起的误差	(129)
一、基本概念	(129)
二、机床部件刚度及其特点	(130)
三、工艺系统刚度对加工精度的影响	(134)
四、接触刚度	(140)
五、减少工艺系统受力变形的途径	(143)
§ 3-5 工艺系统热变形产生的误差	(144)
一、工艺系统的热源	(144)
二、机床热变形对加工精度的影响	(145)
三、刀具热变形对加工精度的影响	(146)
四、工件热变形对加工精度的影响	(147)
五、热变形的控制	(148)
§ 3-6 其他误差因素	(152)

一、工件安装误差和夹具误差	(152)
二、刀具误差	(152)
三、测量误差	(154)
四、调整误差	(155)
五、内应力引起的变形	(156)
§ 3-7 加工误差的综合	(158)
一、误差的性质	(158)
二、加工误差的综合	(159)
§ 3-8 加工误差的统计分析	(160)
一、分布曲线法	(160)
二、控制图法	(165)
三、统计检验	(167)
四、机床的调整	(169)
五、相关分析	(170)
§ 3-9 保证和提高加工精度的途径	(172)
一、减少或消除原始误差	(172)
二、补偿或抵消原始误差	(173)
三、转移原始误差	(174)
四、误差分组	(175)
五、“就地加工”达到最终精度	(175)
六、误差平均法	(176)
七、加工过程中的积极控制	(177)

第四章 机械加工的 surface 质量与振动

§ 4-1 概述	(179)
一、表面的几何形状特征	(179)
二、表面层的物理-机械性质	(180)
§ 4-2 表面质量对零件使用性能的影响	(181)
一、表面质量对耐磨性的影响	(181)
二、表面质量对零件疲劳强度的影响	(182)
三、表面质量对零件配合性质的影响	(183)
四、表面质量对零件耐腐蚀性能的影响	(183)
§ 4-3 影响表面质量的工艺因素	(183)
一、切削加工影响表面粗糙度的因素	(183)
二、磨削加工影响表面粗糙度的因素	(184)
三、表面层物理-机械性能的变化	(187)
四、表面层的残余应力	(193)
五、表面强化工艺	(197)
§ 4-4 机械加工中的振动	(198)
一、概述	(198)
二、强迫振动	(198)

三、自激振动.....	(203)
四、自激振动的控制.....	(211)

第五章 精密磨削与高效磨削

§ 5-1 精密磨削	(216)
一、精密磨削低粗糙度表面的形成.....	(216)
二、实现精密磨削的条件.....	(217)
三、精密磨削用量的选择.....	(219)
§ 5-2 高速磨削	(220)
一、高速磨削的特点.....	(220)
二、实现高速磨削的条件.....	(221)
三、高速磨削用量的选择.....	(222)
§ 5-3 强力磨削	(223)
一、平面缓进给强力磨削.....	(223)
二、外圆高速强力磨削.....	(226)
§ 5-4 砂带磨削	(227)
一、砂带磨削的特点.....	(227)
二、砂带磨床的特殊结构.....	(228)
三、砂带磨削用量的选择.....	(230)
§ 5-5 其他高效磨削方法.....	(232)
一、宽砂轮、多砂轮磨削.....	(232)
二、高速重负荷磨削.....	(233)

第六章 装配工艺

§ 6-1 概述.....	(237)
一、装配精度.....	(237)
二、装配精度与零件精度的关系.....	(239)
§ 6-2 装配尺寸链的分析.....	(240)
一、装配尺寸链的建立.....	(240)
二、装配尺寸链的查找方法.....	(242)
三、保证装配精度的方法.....	(243)
§ 6-3 互换装配法	(243)
一、完全互换装配法.....	(244)
二、大数互换装配法.....	(246)
§ 6-4 选择装配法	(252)
一、直触选配法.....	(252)
二、分组装配法.....	(253)
三、复合选配法.....	(255)
§ 6-5 修配装配法	(255)
一、补偿环被修配时、封闭环尺寸变大.....	(256)

二、补偿环被修配时封闭环尺寸变小	(258)
三、修配的方法	(260)
§ 6-6 调整装配法	(261)
一、可动调整法	(261)
二、固定调整法	(262)
三、误差抵消调整法	(264)
§ 6-7 装配工艺规程的制订	(264)
一、制订装配工艺规程的基本原则及原始资料	(265)
二、制订装配工艺规程的步骤	(266)
三、确定装配顺序的原则	(269)

第七章 机床夹具设计

§ 7-1 机床夹具的概述	(271)
一、机床夹具在机械加工中的作用	(271)
二、机床夹具的分类	(272)
三、专用机床夹具的组成	(273)
§ 7-2 工件在夹具中的定位	(274)
一、工件采用定位法加工	(274)
二、定位基准	(275)
三、六点定位原理	(275)
四、定位误差	(280)
五、定位方式及定位元件	(290)
§ 7-3 工件的夹紧	(295)
一、夹紧装置的概述	(295)
二、夹紧力的确定	(296)
三、夹紧动力源	(300)
四、增力机构	(306)
五、锁紧机构	(322)
§ 7-4 夹具的连接元件、分度装置和夹具体	(324)
一、夹具的连接元件	(324)
二、夹具的分度装置	(326)
三、夹具体	(329)
§ 7-5 夹具设计的方法	(331)
一、各类机床夹具	(331)
二、专用夹具的设计步骤	(347)

主要参考文献

结 论

《机械制造工艺学》是机械制造工艺及设备专业的主要专业课教材之一。本书是参照由原机械工业部机械制造（冷加工）专业教材编审委员会推荐的教学大纲，结合《机械制造工艺学》课程多年来教学实践和科研成果而编写的。

《机械制造工艺学》是工艺科学的一部分。人们为了制造出一部机器，包括交通运输机器（汽车、机车及车辆、拖拉机、飞机、船舶以至摩托车、自行车等）；矿山冶金机器（钻采及凿岩机、挖掘及传输机械、炼铁及炼钢机械、轧钢机械等）；各种机床与工具；各种通用机械（压缩机，通风及排风机、真空机械及各种泵类）；精密机械及仪表；各种动力机械（内燃机、蒸汽机、汽轮及燃气轮机、水轮机、发电机、电动机以至原子能发电站）；电子工业所需之专用机械与仪表；军事工业所需之各种机械装备；以上种种机械的制造均需要将金属及非金属的原材料以毛坯的形式进行种种加工过程，经过加工的毛坯变成了各种各样的有高的精度和适合各种质量要求的零件，然后将其中很大部分的零件，依据所要求的使用目的，按严密的装配工艺过程，装配成各种各样的机器。最后再经过各项质量（包括精度、表面粗糙度、其他各种表面质量指标）检验及考核，合格后才可提交给国民经济各部门，才能真正称之为 一部机械。

机械或机器的制造过程可以概括分为两大部分：第一部分是加工各种零件，第二部分则为装配。

各种机械零件的加工过程，大体上说可以分为两种类型：一种为热加工过程，如铸造、焊接、锻造、热处理等；另一种则为冷加工过程，包括车削、磨削、铣削、刨削、钳工过程等。近 40 年来在已有百年以上历史的切削加工之外，又出现了一些新的加工方法，如电火花加工、电解加工、电解磨削、超声波加工、电子束加工、离子束加工以及激光加工等，由于这些加工方法主要不是依靠机械能、切削力进行加工，而是可以用软的工具（甚至不用工具）加工硬的材料，因此很适合用于难加工材料、复杂表面和某些特殊要求的零件。这些新的加工方法，常称之为特种加工。

迄今高等学校中所讲授的《机械制造工艺学》可以用图 0-2 所示方框图中的点线范围示意。

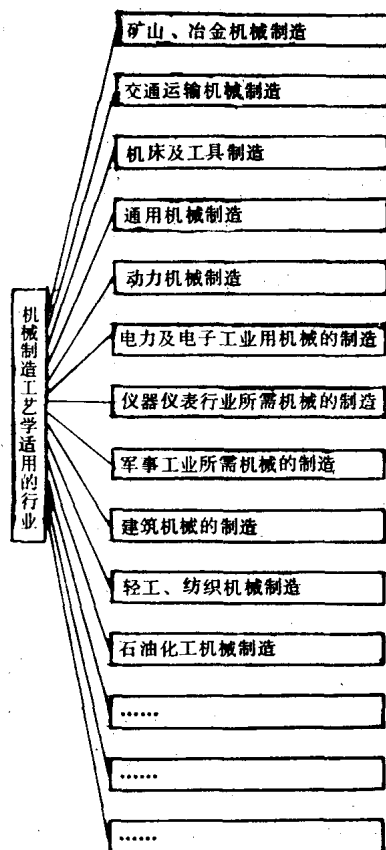


图 0-1 《机械制造工艺学》可服务和适应的行业

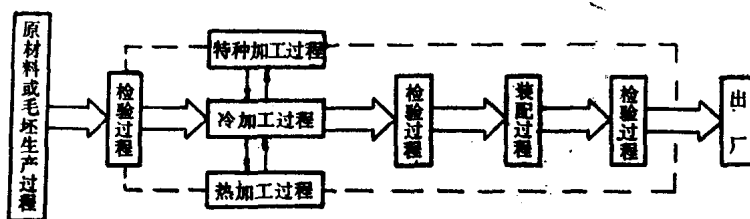


图 0-2 机械制造工艺学所研究的范围

机械制造工艺学的范围（点线方框内）主要是冷加工及装配过程，但也常涉及到一部分热加工过程（例如热处理）或特种加工过程，还有一些介于冷加工过程与其他加工过程二者之间的加工方法。例如在切削过程中引入超声波振动、电解磨削、阳极机械磨削、加热切削及低温切削等，所以三者之间画上了细箭头的往返。

没有检验就无法保证质量。为此在加工前必须对原材料及毛坯进行检验，加工后对零件质量进行检验，装配后对整个部件以至整台机械进行检验才可允许合格产品出厂。

《机械制造工艺学》的第一个重要问题是保证所制造机械的质量，没有质量就没有一切，机械质量是根据机械的使用目的而决定的。机械制造的质量应该包括：各项精度，要求的表面粗糙度，零件的各种机械、物理性能，整台机械的工作精度、振动、噪声等。

《机械制造工艺学》的第二个重要问题是生产率。目前常说的“时间是金钱，效率是生命”就包含这方面的意思。所谓生产率就是指按人按单位时间生产出的合格产品产量（或产值）。为了提高劳动生产率，主要从改进原有的工艺过程、采用新的工艺过程入手，为此必须深入研究“工艺”，另一个主要手段是在创造了新的工艺过程之后，采用此种新工艺的高效设备（包括各种机床和工具），和提高工艺自动化程度。而提高自动化程度不仅可提高生产率，而且可以相对稳定地保证所加工产品的质量。

《机械制造工艺学》的第三个重要问题是经济性。简单地说就是要减少产品生产成本的支出。在当前，较大的部分为原材料的支出和机械设备费用的支出。为此，节约和合理选定原材料，研究新材料是重要的课题。而对于后者应从合理使用及改进现有的设备，或采用新的高效设备着手来降低成本。如此制造的机械或零件，在国内才能更广泛地为各部门所采用。也只有高质量、低成本而又高效率、高生产率条件下制造出的机械设备及其零件才能打入国际市场，为引进所需要的更先进设备和技术（包括工艺）创造条件，从而加速我国社会主义四个现代化的实现。

基于机械制造的过程主要是加工过程及装配过程，而根据我国冷热加工各有不同的专业设置，因此本书重点自然放到冷加工及装配过程中的工艺问题方面。从第一章到第六章都是直接涉及两种过程的各个方面。第一章重点说明工艺学中三大重要问题，而第七章机床夹具设计则是为保证加工质量、批量生产中的生产率和降低批量生产中的成本与改善其经济性。仍属和工艺三大重要问题相关。

机械制造工艺学服务与涉及的制造行业虽然成十上百，其装配成的机械种类及加工好的零件品种虽成千上万，但工艺学不可能也不需要一一罗列，为此乃选取了几种量大、面广，且具有使用各种加工方法和有代表性的几种零件的加工为典型。于是乃构成第二章，使读者能举一反三，触类旁通，开始培养分析问题、解决问题的能力。真正掌握工艺，并了解其重要

性，还要在今后的工艺课程设计及毕业设计中，以及大学毕业后多年工艺工作中才能不断深入了解其重大意义。但加工工艺中最重要的问题仍为加工质量，为此专门用第三、四、五章深入分析它。

磨削加工近一个世纪以来，一直是精密加工的主要方法。由于磨料、磨具、磨床在数量、品种方面不断发展和增加，在质量上不断改进和创新，因此精密加工的质量愈来愈好，生产率愈来愈高，而磨削成本却愈来愈下降。因而磨削工艺的比重，磨床在机床中所占的比率不断提高，已由本世纪初的 2% 到 5% 上升到当今的 25% 左右，而且已有预言：将在本世纪末达到冷加工的 40% 左右。最近二三十年，磨削加工不仅进一步提高加工质量，而且更向高效率加工发展，基于这种客观事实，有特别着重述及的必要，本书的第五章就是据此而设置的。

东北工学院自 50 年代中期就开始了磨削加工的研究工作，目前在其机械制造专业博士、硕士研究生的培养中，在学术方面其科学研究的重点之一就是金属磨削加工及磨床。

科学是建立在深入分析和不断研究与探索之上的。机械制造工艺学既然是工艺科学的一部分，因此它也是建立在分析研究的基础之上的。例如以某零件的冷加工工艺过程而言，又可将其细分为许多工序，这中间也可能穿插一两个热加工工序（如淬火、退火等），当然每道工序之后都需要有质量（包括精度）的检验过程。

每个工序又可分为若干工步，每个工步又可能分为若干次走刀，而每次走刀又可能细分为若干个动作。这里的生产过程、工艺过程、工序、工步、走刀等都有比较严格的定义，以便于科技工作者有共同语言，便于深入分析研究工艺问题。这些可以在第一章中看到。

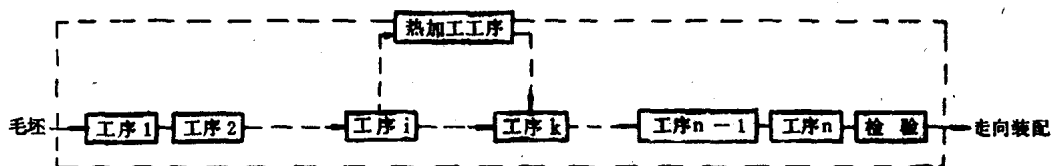


图 0-3 冷加工过程与范围工序

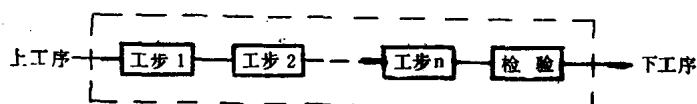


图 0-4 工序范围与工步

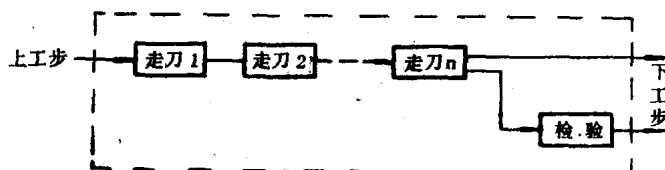


图 0-5 工步范围与走刀

对于一个工序而言，加工之后必需进行质量检验，但对于一个工步而言有时可以免去检验，因此在图 0-5 上走向下工步之前表示出可经过也可不经过检验。

在现代工业中对于一部机器或一个零件的质量、生产率和成本的要求愈来愈高，愈来愈严。因此为了解决工艺中某一个重要问题，常常不仅要宏观地分析生产过程，而且要分析某

一个工序，甚至要“微观”地分析某一个工步或某一次走刀，才能查出解决问题的关键，从而解决一个工艺难题。而这些常常是车间技术员、助理工程师，对于大厂而言有时也是工程师们要面临的课题。

例如某工序中产品出了缺陷，影响了工件质量，为此立即要查找各工步，然后又要查各走刀有什么问题，而每次走刀又是在不同的切削速度、进给速度和切深条件下，使用不同材质及形状的刀具对坯件进行加工的，因此影响一个工件在加工中的质量、效率等方面的因素很多。从而使分析一个工序问题可以分析得愈来愈深入和清晰。这样，工艺问题就会解决得愈来愈彻底。一般来说，解决一个工艺问题常常受以下六个方面(如图 0-6)

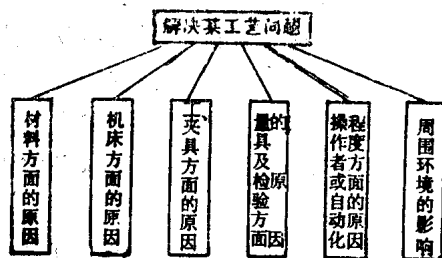


图 0-6 影响解决工艺问题的各种原因

因素的影响：

材料方面：再可细分为化学成份，物理、机械性能、热处理质量等。

机床方面：机床工作范围及性能，机床精度、刚度、热变形、磨损、振动等。

夹具、工具：工、夹具的精度，寿命、材质（如为砂轮则有粒度、硬度、结合剂、磨料种类）形状、尺寸等。

量具检验：检验原理、方法、仪器精度、磨损、检验量具本身的精度等级。

操作者或自动化程度：熟练程度，专心致志程度，视力及体力限度，反应速度，自动化程度等级。

环境因素：恒温条件、粉尘情况、环境振动、噪声、湿度、空气中化学成份等。

上面这些就是大体分析，并不是解决任何一个小的工艺问题，都要在六个方面一一深入。常是加工质量不好，换一把刀具即可解决。有时是调整一下机床即好了。要对于具体问题具体分析，不能机械地繁琐地去思考问题。

绪论之初就指出《机械制造工艺学》是工艺科学的一部分。所谓科学性，就是要深入分析，严格对比，利用已掌握的各种理论知识（如数学、物理、化学、机械原理、刀具与切削原理、公差与技术测量、理论力学、材料力学等），在实践中实事求是地找出客观规律的本来面目，解决面临的工艺问题。

解放前的旧中国没有机械制造业，只有修修补补的维修各种机械的修配业，而且手工劳动比重很大，在第一个五年计划（1953—1957年）期间建立了我国自己的机床与工具制造业，汽车与拖拉机制造业，冶金与矿山机械制造业，飞机与船舶制造业，精密仪器与仪表行业等。有很多骨干工厂不仅在当时大量从国外引进了机器设备，而且引进了为制造一些新产品而需要的全套图纸及其技术要求，引进了全套工艺文件资料，甚至还包括一些科研成果。因此 50 年代的产品生产基本是仿制，工艺上大部是照搬。60 年代开始提出了设计新产品的问题。工艺方面多数基本上可沿用原有工艺，因此当时尚未深切感到需要形成一个先进的全套新工艺。对于一个新工艺过程建立的艰巨性，和科学研究后来制订工艺规程的重要性的认识均是不够的。对于当时在大专学校学习《机制工艺学》的大专学生而言，许多人感到工艺学一学即懂，但放下书本即忘，一结合实际即错。这主要是因为对工艺学的重要性认识不足，对其科学性理解不深，缺乏在实践中对工艺学内容是很宝贵的这种理解。

70年代末以来,又开始从国外大量引进,发现国外只卖给机械设备,但这些机械设备的图纸一般并不卖,更谈不到制造这种设备的零件、部件、以至整个机械的工艺资料了,即使肯卖些比较老式的产品制造图纸及工艺文件,也要付出高昂的代价。而很多工艺中较关键的问题都变成了所谓“专利”。

因此近 10 年来,我国各机械制造行业,特别是机床工具行业开始重视“工艺”了,工艺的身价也提高了,工艺和工艺装备(机床、工具、量具、夹具等)的关系方面,总的来说应该是先有工艺然后才有实现此工艺的工艺装备,有了新的工艺装备后,在此手段之上就能较易发展、更新工艺,然后再根据更新的工艺方法来设计制造更先进的工艺装备。

为了改进工艺方法,就需要试验研究。用科学的方法研究工艺就使工艺和工艺装备迅速地走向更高阶段。例如从本世纪初深入研究了汽车制造工艺,于是在生产过程中采用了计时制、时间定额及均衡生产等,从而在汽车制造业中首先施行了流水作业生产。40 年代又将该流水作业生产方法经过研究改进工艺后移植到机床生产中,创造了多轴联动镗床、多轴铣床、流水装配线等,使机床生产达到先进水平。我国沈阳第一机床厂生产的车床质量稳定,成本低、均衡生产效率高就是证明。

从最近三四十年国内外对于刀具材料的不断研究:新的砂轮结合剂及新的超硬度磨料如金刚石、立方氮化硼(CBN)等研究成果的出现,使冷加工中出现了高速切削及高速磨削,于是又要求并促进创制新型高速车床及磨床。

由于各种机械中采用轴承的数量愈来愈大,产量甚至达到以亿计,因此微小的工艺改进都会带来巨大的利益,为此从 50 年代初国外即开始更进一步分析滚动轴承生产工艺,发现其加工方法比较单一,特别是有 50% 左右的工序为磨削加工,而这些工序又多属终加工及精加工工序,加工表面粗糙度很低,尺寸精度高,余量变化很小,非常适合自动测量,自动分选。于是国外首先创制了轴承生产自动线,发展了轴承加工、检验、装配、包装的全套自动线及自动化工厂。我国洛阳轴承厂等已根据此种新工艺安装了我国自行设计制造的各种工艺装备(自动车床、自动化磨床、自动量仪、自动分类机,自动包装机等)。

一个工件在加工中如果多次更换机床或加工位置,不可避免增加多次定位误差,为此乃发明了多刀机床、多轴机床,最近更发展了多达数十种刀具的加工中心机床(沈阳中捷人民友谊厂生产具有 60 把刀具的镗铣加工中心)。

不论多么复杂的自动化设备,如果深入分析其动作,也都是从个别的机械动作(如定位、夹紧)走刀、工步、工序等所组成,没有对工艺最基本、最深入的分析,是不能创造新的工艺装备的。为了发展新工艺方法,创造新的工艺设备,国外在最近六七十年,国内在最近二三十年逐步深入地开展了工艺课题及其理论的研究。这些课题的研究,在工厂多在厂属研究所或试验室进行,在部、委所属的研究院、所进行。我国的高等学校所设立的研究所(如东北工学院机械工程研究所)及研究生院均进行很多工艺性课题的研究。这些课题有的是直接为新工艺、新设备的进展服务,而另一些看来是解决一些理论问题,实际也是间接为开拓新工艺、新设备而存在的。在高等学校的研究课题中,相当一部分是以硕士研究生及博士研究生的论文课题形式出现的。例如,可举出如下硕士研究生论文课题:

1. 砂轮速度对钢坯修磨影响的研究;
2. 应用量纲分析和回归正交综合法研究缓进给强力磨削功率;

3. 缓进给强力磨削深沟表面(二维)残余应力的试验研究;
4. 空气静压径向轴承回转精度研讨;
5. 激光衍射测微技术研讨;
6. 机械加工自动线可靠性问题的研究;

对于博士生研究论文课题,可举例如下:

1. 高速重负荷钢坯磨削及其机理的研究;
2. 摆线齿轮新工艺的研究;
3. 直线度误差补偿磨削系统用计算机控制;
4. 机床结构实验模态分析方法的研究;
5. 钛合金铣削加工中刀具磨损的研究;
6. 黑色金属及难加工材料的超精密切削性研究;
7. 轧辊磨削的研究。

以上说明了工艺与工艺装备间的相互辩证关系,工艺的发展与科学研究工作的关系以及《机械制造工艺学》之所以为工艺科学一部分的原因。

《机械制造工艺学》的发展离不开机械制造行业的发展。从 18 世纪 70 年代开始制造蒸汽机,可以认为这是近代机械制造行业的开端,而 20 世纪初开始在机械工业中的大量生产则为工艺学的发展打下了基础。

50 年代以来机械工业产品最突出、最普遍的发展动向是大型化,高精度,高效率,高度自动化,因此制造这些产品的工艺也直接受其影响。

在大型化方面,50 年代炼铁高炉一般为 1 千立米炉容,80 年代已发展到 4~8 千立米;露天矿所用的采煤机械——斗钻挖掘机,其工作能力最大可达日产 20 万立米,全部机器重 13000 吨。以发电设备为例:60 万千瓦机组与 20 万千瓦机组相比,单位功率造价下降 10~20%。再以运矿石汽车为例,国内一些矿山仍以 32 吨及 20 吨汽车运矿石,从运费看美国 90 吨汽车费只相当 20 吨级汽车运矿费用的四分之一。国外从 70 年代中一直推广使用 150~170 吨电动轮汽车。目前甚至有达到 350 吨的。当然国内现在也发展 100 吨以上的运矿石汽车。轧钢机、柴油机亦均如此。这就要求在工艺学中要分出一个重要分支,即《重型机器制造工艺学》,以满足直接与冶金、矿山各有关专业教学的需要。为此东北工学院机制工艺教研室早在 1961 年及 1980 年就编出《重型机器制造工艺学》,并由国家出版社正式出版。

机械制造发展的第二个趋势是向高精度发展,因而也发展了高精度加工工艺。例如本世纪初加工精度达到 0.01mm,保证了武器的互换性以及缝纫机、滚动轴承、汽车、电机等的大量生产。1930 年可达到的加工精度为 0.001mm,制成了块规。1970 年以来可达到的精度为 0.02 μ m,例如圆度仪的心轴偏移值。切削加工在一定条件下也可达到微米级精度,但很困难,而磨削加工近百年来始终是走在精密加工及超精密加工的前面,成为最主要的方法。

电子元件的精密加工是当前的重要课题,比如厚 0.4mm、直径达 102mm 的大规模集成电路基板要求平直度 5~7 μ m,表面粗糙度等级为 $R_z \leq 0.05\mu$ m,且对残余应力,晶格扭曲、污染等表面质量有严格要求。这类零件还有大功率激光反射镜、磁头、石英振子等。它们都要求极苛刻的加工条件,为此最近先是在国外,稍晚也在国内发展了超精密加工工艺

技术,这主要针对高级陶瓷、硅片、光学玻璃等材料。其加工方法见图 0-8。其中近年对硅片加工面积及平直度的发展如图 0-9,即加工硅片的径值愈来愈大,而对于平直度要求却愈来愈严格。目前国外加工超精密多面棱镜面(宽 10~70mm, 外径 60~200mm)其平面度达 0.03~0.1 μm ,表面粗糙度为 $R_{\text{zmax}}=0.01\sim0.08\mu\text{m}$,反射率达 80~90%。国外利用磁悬浮研磨抛光,用 4 μm 细磨粒加工可取得 $R_{\text{zmax}}\leq 0.04\mu\text{m}$ 的极光滑表面。目前对电子表及磁盘,

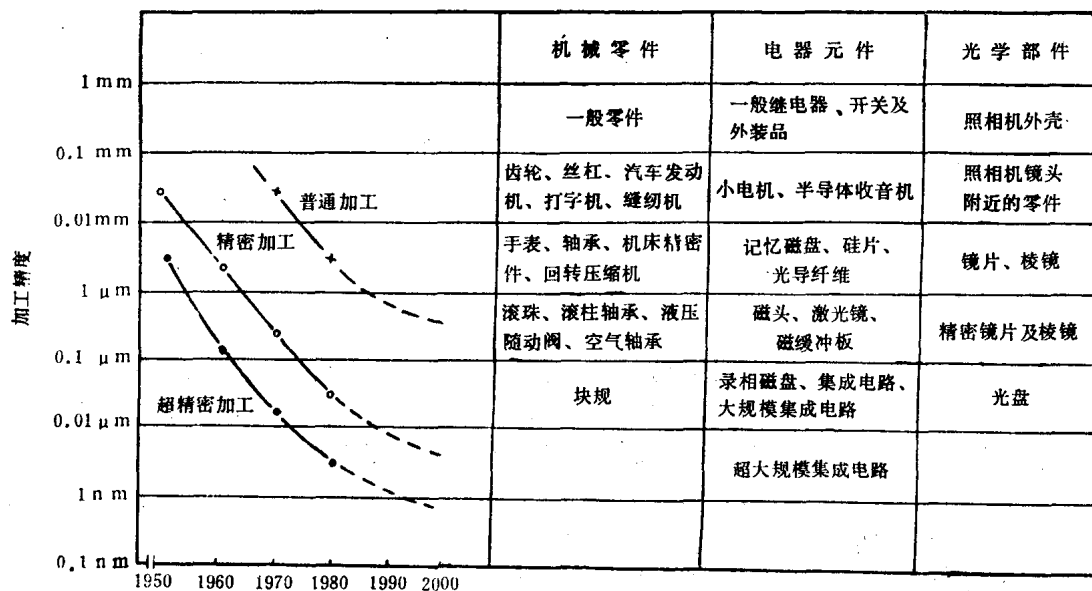


图 0-7 加工精度的推移及对应的加工零件

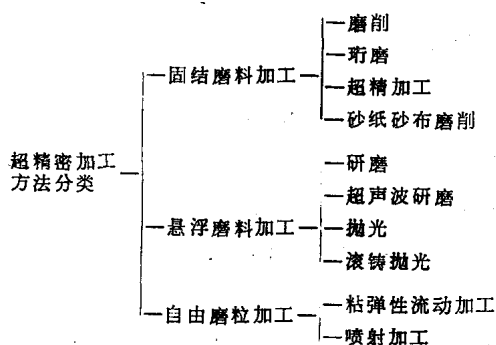


图 0-8

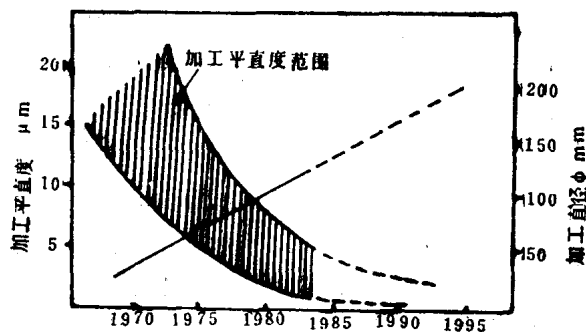


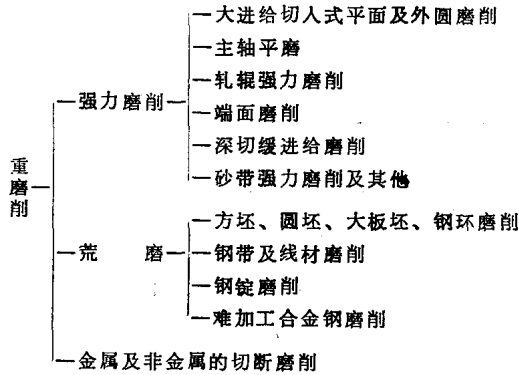
图 0-9

半导体、水晶石英玻璃、金属陶瓷、刀具材料等还广泛应用如下与磨削有关的精密加工方法：砂轮切断、金刚石切断，一般磨削、抛光与研磨等。尽管这些精密加工方法在不同方面还存在有不同的问题，如效率、费用、加工自动化、批量技术、工具消耗等，但它们作为高精度、高表面质量和超精密级的磨加工技术已和特种加工的一些技术（如激光加工、电子束加工、离子束加工）联合在一起成为超精密加工的前沿技术，并正在创建着超精密加工工艺学。

机械制造发展的第三个趋势是向高效率工艺发展，机床的高效率主要反映在采用高速切

削、高速磨削、单机自动、多刀、多刃、多轴、多工位、多动力头的组合机床，以及自动线。以切削速度为例：1900 年高速钢车刀达 30m/min ，1950 年用陶瓷刀片后切速达 200m/min ，国际生产工程学会 (CIRP) 认为到 1990 年在生产条件下切速可能达到 1800m/min ，50 年代磨削速度一般为 35m/s ，近 10 年已生产了全封闭的速达 $90\sim 120\text{m/s}$ 的高速磨削机床。

重磨削是高效磨削的全面发展，见下表。



机械加工工艺中，在 19 世纪实现了以机械进给代替手动进给后，1930 年发明了自动靠模，1952 年发明了自动程序控制，1959 年出现了自动交换刀具，砂轮 (1970 年) 大致每 50 年左右操作的辅助工时约减少一半。改进工艺方法也是《机械制造工艺学》中提高效率的主要内容之一，例如利用锻压设备，实现了无切屑及少切屑加工即为一例。美国、日本、苏联近年锻压设备与金属切削机床之比已由 20 多年前的 $15\sim 26\%$ 上升到最近的 $23\sim 30\%$ 。

机械制造发展的第四个趋势是自动化。

单机自动化只能算一个起点。估计美国有多达 20 000 条自动线，17 000 台自动装配机，这些主要用于大量生产。而单件小批生产的自动化，最具代表性的则为数字控制 (NC) 机床，它研究于 1947 年，正式产品出现于 1952 年。一台 NC 机床的生产率相当于 $5\sim 7$ 台一般机床。1959 年出现了带数十把刀具、可进行自动换刀的数控镗铣床，又称加工中心。1964 年将小型计算机应用于 NC 机床上，简称 CNC。70 年代已将几台加工中心 (M.C) 机床联成自动线。

工艺过程自动化中新掘起的领域，也是目前高科技的重要部分之一为工业机器人。它大部分用于机械工业，如用于加工、焊接、喷涂、装配、上料等。据资料介绍到 1985 年及 1990 年几个国家的工业机器人将再分别增加一万到三万台。

柔性制造系统 (FMS) 是将几台数控机床 (NC) 和工件传送装置、装卸装置有机地联结起来，用一台计算机进行管理和控制的系统，到 1981 年全世界已有 203 个柔性制造系统，我国已制造了若干个柔性制造系统，它的优越性比之普通大量生产中之自动线，工件具有一定的可变动性。因而是机制工艺发展的一个新的顶端。日本在 1977 年开始建造一个采用激光的复合柔性制造系统，实际上是一个试验性的自动化工厂，它由毛坯备料部分、机械加工单元、 CO_2 的 20 千瓦激光处理单元 (热处理、焊接) 装配单元，检验单元和生产监控系统所组成。可以制造两个轴、三个轴的多种变速箱，到 1984 年笔者参观时为止，正在最后调整试验中。因此迄今无人化工厂是机械制造工艺发展的最尖端。

以上所述机械制造工艺发展的四大趋势，可概括归纳为：“三高一大”。特种加工和自