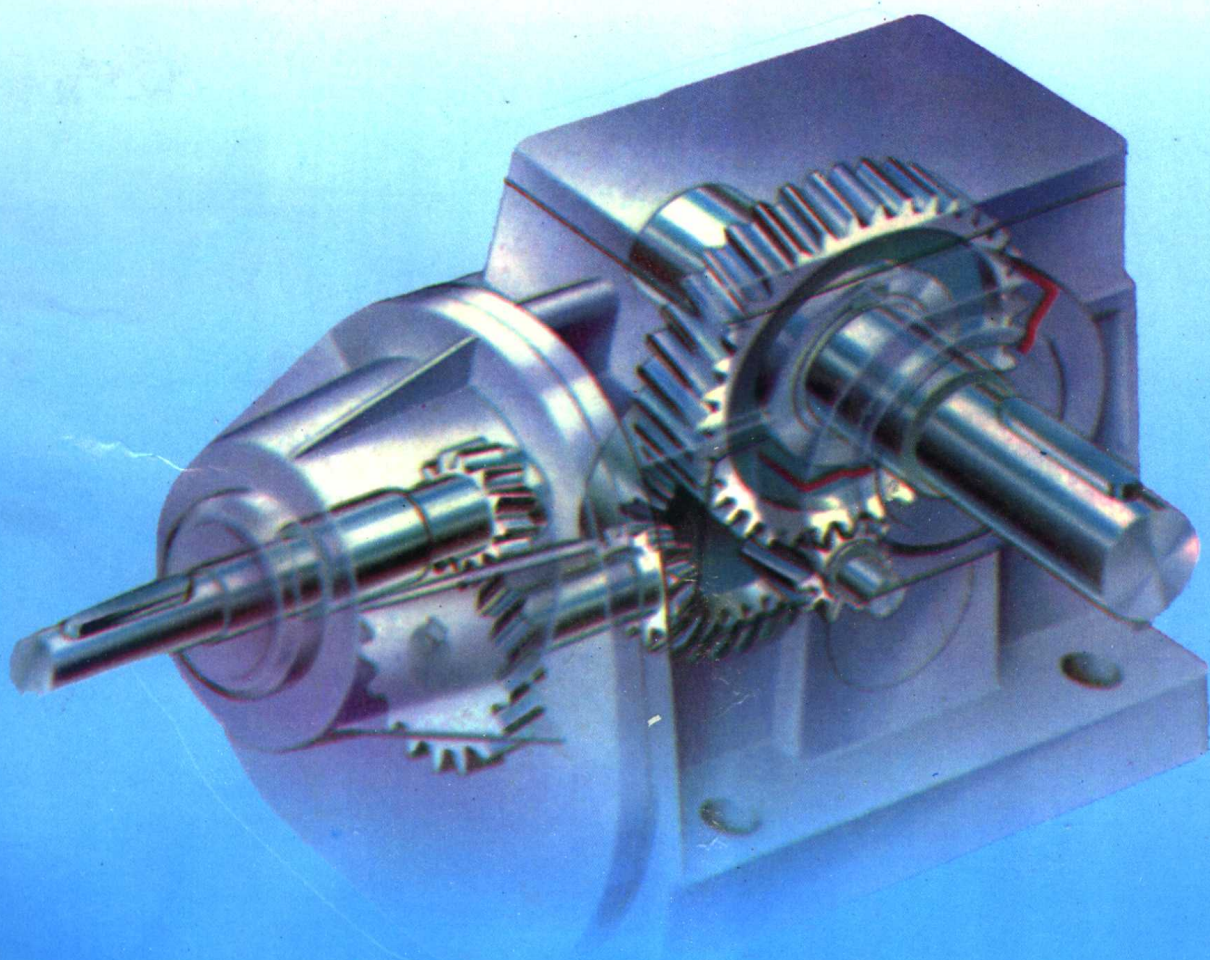


高等学校机械类系列教材

机械制造工艺学

周昌治 杨忠鉴 赵之渊 陈广凌 主编



重庆大学出版社

机械制造工艺学

周昌治 杨忠鉴 主编
赵之渊 陈广凌

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书包括机械加工精度,机械加工表面质量,机械加工及装配工艺规程的制订,尺寸链,精加工与光整加工,各类型零件及齿形加工和现代制造技术等内容。

本书的特点是突出了教材的适用性,加强了表面的精密加工与光整加工,各类型零件与齿形表面的加工工艺和方法,以及中、小批生产工艺和装配工艺等方面的内容。对工艺基础理论方面,注重了概念的建立和原理的具体应用,并附有相应的习题帮助学生掌握和运用基本理论的概念和原理。

本书可作为高等工科院校的专科及高等专科学校机械制造工艺及设备专业的教材,亦可供机械设计、制造方面的工程技术人员参考。

机械制造工艺学

周昌治 杨忠鉴

赵之勤 陈广凌 主编

黄亚瑞 梁广涛

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑高等专科学校印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:424千

1994年10月第1版 1999年9月第5次印刷

印数:20001-23000

ISBN 7-5624-0948-X/TH·46 定价:17.00元

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区 14 所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一,组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学生应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了 50 门课程的编写书目。

第二,通过主编会议审定了 50 门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三,规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学生的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要。
3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;
4. 减少不必要的数理论证和数学推导;
5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;
6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;
7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四,由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项“浩大的工程”。经过一年多的艰苦努力,系列专科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区 14 所院校专科教育的办学经验,是西

DA 62 100 12

部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本书是根据国家教委制订的高等专科学校机械制造专业《机械制造工艺学教学基本要求》，结合西部地区机械工业的特点，由四川工业学院、贵州工学院、云南工学院、攀枝花大学、昆明工学院、陕西工学院、广西工学院和四川轻化工学院等8所院校联合编写的。它可作为高校机械制造工艺及设备专业的专科教材，亦可作为其他专业需开设《机械制造工艺学》课程的教学用书，并可供从事机械设计和制造方面的科技人员参考。

全书共分十章，包括机械加工精度，机械加工表面质量，工艺规程的制订，尺寸链，精密加工与光整加工，回转体零件加工，机体与箱体加工，其他零件加工，齿形加工和现代制造技术等内容。

本书注重适用性和能力的培养，加强了尺寸链、工艺规程的制订、表面的精密加工与光整加工、各类典型零件与齿形表面的加工工艺和方法等内容。对工艺理论基础部分，着重概念的建立和原理的具体运用。同时，对特种加工、微细加工、成组技术、数控加工、计算机辅助工艺过程设计和制造、柔性制造系统与计算机集成制造系统等现代制造技术，亦作了适当的介绍。全书内容按70学时编写，但为了适应各专业不同的需要，对各类典型零件及齿形的加工工艺与方法部分，安排的内容比规定学时要多；各院校可根据自己的具体情况和专业特点，适当选取部分内容讲授或结合生产实习进行现场教学。

参加本书编写的人员有：四川工业学院周昌治（绪论），攀枝花大学陈广凌（第一章），昆明工学院马骏骑（第二章），贵州工学院杨忠鉴（第三、七章），云南工学院赵之渊（第四、八章），四川轻化工学院杜懋仁（第五章），广西工学院徐立平（第六、十章），陕西工学院涂先志（第九章）。其中，第一、二、四章由杨忠鉴统稿，第三、五、十章由赵之渊统稿，第六、七、八章由陈广凌统稿，全书由周昌治最终统稿。

本书由周昌治教授，杨忠鉴副教授，赵之渊副教授，陈广凌副教授担任主编，重庆大学徐发仁教授担任主审。

本书在编写过程中，得到了许多同志的关心、支持和帮助，特别是本书于1993年7月在兰州进行终审时，得到了兰州工业高等专科学校的大力支持，谨此，一一表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，加之编写时间较为仓促，因此，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者多加赐教指正。

编者

1993年9月

目 录

绪论	1
第一章 机械加工精度	5
§ 1-1 概述	5
§ 1-2 影响机械加工精度的因素	10
§ 1-3 加工误差的综合分析	31
§ 1-4 保证和提高加工精度的主要途径	41
第二章 机械加工表面质量	49
§ 2-1 概述	49
§ 2-2 影响表面质量的因素及改善措施	51
§ 2-3 机械加工中的振动	57
第三章 工艺规程的制订	66
§ 3-1 概述	66
§ 3-2 定位基准的选择	74
§ 3-3 机械加工工艺路线的拟定	78
§ 3-4 加工余量及工序尺寸与公差的确	82
§ 3-5 工艺过程的生产率分析	86
§ 3-6 工艺过程的经济分析	89
§ 3-7 制订机械加工工艺规程的实例	91
§ 3-8 装配工艺规程的制订	96
§ 3-9 产品结构的装配工艺性	103
第四章 尺寸链	110
§ 4-1 概述	110
§ 4-2 工艺尺寸链	116
§ 4-3 装配尺寸链	125
第五章 精密加工与光整加工	145
§ 5-1 概述	145
§ 5-2 精密加工	146
§ 5-3 光整加工	151
§ 5-4 表面强化工艺	155
第六章 回转体零件加工	159
§ 6-1 概述	159
§ 6-2 螺纹与丝杠加工	169
§ 6-3 机床主轴加工	175
§ 6-4 曲轴加工	180

第七章 箱体与机体加工	184
§ 7-1 概述	184
§ 7-2 箱体加工	185
§ 7-3 床身加工	195
第八章 其它零件加工	199
§ 8-1 拨叉加工	199
§ 8-2 连杆加工	203
§ 8-3 凸轮加工	207
§ 8-4 模具加工	211
第九章 齿形加工	215
§ 9-1 圆柱齿轮齿形加工	215
§ 9-2 圆锥齿轮齿形加工	225
§ 9-3 花键副加工	231
§ 9-4 蜗杆副加工	234
第十章 现代制造技术	240
§ 10-1 特种加工	240
§ 10-2 微细加工技术	251
§ 10-3 成组技术	252
§ 10-4 计算机在机械制造业中的应用	255
参考文献	262

绪 论

机械制造工业担负着为国民经济各部门提供各种机械装备的任务,在国民经济中具有十分重要的地位和作用。它提供的装备水平对国民经济各部门的技术进步有很大的、直接的影响,其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。随着社会主义建设事业的发展和经济体制的转变,各行各业对机械产品的质量、数量和品种提出了更多、更高的要求。因此,机械制造工业必须努力提高制造技术水平,不断提高产品的质量、数量和革新品种,以满足国民经济各部门各方面的需求和适应社会主义市场经济的发展。

一、机械产品的生产过程和工艺过程

将原材料转变为成品的全过程,称为生产过程。机械产品的生产过程是一个复杂的过程,它包括:原材料的运输和保管;生产准备工作;毛坯的制造;毛坯经机械加工成为零件;零件装配成机械产品;检验和试运转;产品油漆和包装等内容。

一种机械产品的生产过程往往是由许多工厂共同协作来完成。例如:飞机、汽车、轮船、机床、电扇、冰箱等,生产这些产品所需要的螺钉、螺帽、销、铆钉等紧固件,由专门的标准件厂生产;所需要的钢材、橡胶轮胎、仪表、玻璃、油漆等,亦均有专门的工厂制造。因此,某一工厂用的原材料、半成品或部件,则是另一些工厂的成品。一种机械产品的生产过程由若干工厂来共同协作完成,它可以为按照产品专业化、工艺专业化和零部件专业化的原则来组成各种专业化生产厂(如齿轮厂,发动机厂,铸造厂等)提供前提;这样,不仅可使产品的经济性很好,而且还可以提高产品质量。

工厂的生产过程又可分为各个车间的生产过程。某一车间用的原材料或半成品可能是另一车间的成品,而该车间的成品又可能是其他车间的毛坯或半成品。例如:铸造车间的成品,则是机械加工车间的毛坯,而机械加工车间的成品,又是装配车间的“坯件”或半成品。

使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程,称为工艺。而生产过程中改变生产对象的形状、尺寸,相对位置和性质等,使其成为成品或半成品的过程,则称为工艺过程。每个车间的产品均有自己的工艺过程,它是生产过程的主要部分。生产过程中,除了工艺过程以外的其他过程,称为辅助过程。例如:原材料、半成品或成品的运输和保管,生产准备,设备维修,工具制造、更换与修磨以及工厂管理等。辅助过程是为了完成产品的工艺过程所必须具备的工作环节。

二、机械产品质量

产品的使用价值;亦即产品具备价廉物美,能够满足社会和人民需要的那些质量特性,称为产品质量。所谓质量特性是指反映产品使用目的的各种技术经济参数。它包括强度、硬度、性能、寿命、成分、油耗、形状、外观、手感、色彩、音响、气味等方面的内容。

机械产品质量就是指机械产品的使用价值。其优劣则是通过它的质量特性能否满足社会和人民的需要及其满足的程度如何来衡量。机械产品的质量特性包括:结构的工艺性,省料性;零件材料的物理性能,化学成分;运行操作的方便、安全、省力;精度的保持性,性能的可靠性;使用寿命;效率、成本和使用维护费用;外型、油漆和包装质量等内容。可以将它们概括为适用

性、可靠性和经济性三个方面:

适用性:指产品适宜使用的性能。例如:车床适宜于加工回转体零件;越野车具有在野外高低不平地面上奔驰的性能;插秧机适宜于在水田里使用的特点等。

可靠性:指产品在规定的期间与使用条件下,完成规定的工作任务而不发生故障的概率。一般是在产品投入使用以后的过程中,逐渐表现出来的精度保持性、耐用性、寿命、安全可靠、平均故障间隔期等性能。

经济性:指产品的生产成本和使用过程中的消耗。它与产品的结构性能,重量,用料,以及使用过程的燃料、动力消耗和维护费用等有关。

机械产品的质量特性,可分为可定量和难定量两部分内容。例如,材料的强度、硬度、化学成分、零部件的耐久性、机器的工作精度和运动速度等,这些特性可以直接定量,并且反映了产品的真正质量特性。其他,如操作轻便、容易,外型美观大方等,则是难以定量的质量特性。这些质量特性需要对产品进行综合的和单项的试验研究,以便确定某些技术参数来间接反映它们(国外称其为代用质量特性)。

将反映机械产品质量主要特性的技术经济参数明确定下来,形成技术文件,它就是机械工业产品质量标准(或称技术标准)。科学的产品质量标准,实际上就是“使用适宜性”的一种定性和定量的表现。但是,由于一些技术、经济、环境和心理等方面的原因,同一标准对一些用户适宜,对另一些用户却不适宜。这就要求生产企业,既要严格遵守产品的质量标准,又要千方百计地采取措施满足各类用户的不同需求。

三、我国机械制造工业的现状和今后的任务

我国机械制造工业经过 40 多年的发展,特别是近 10 多年来的改革开放,各种机械产品,如机床、汽车、重型机械、仪器仪表、各种民用机械等的生产都具有相当的规模,已经形成了品种繁多、门类相当齐全、布局基本合理的机械制造工业体系。研制出一批重大成套技术装备和多种精尖产品(如磨削 2 级超精密齿轮的磨齿机,分度精度为 ± 0.1 角秒的端齿分度台等),开发出 1 万多种新产品,有了自己的数控装置、柔性制造单元、数控机床产业等,使机械制造技术水平有了较大的提高。现在已有 85% 以上的机电产品基本立足于国内。在“五五”计划期末,机械产品达到国际 70 年代水平的仅占 5% 左右,到“六五”计划期末达到国际 80 年代初水平的占 26.7%,近年来发展的新产品已有 70% 可达国际 80 年代初期的水平,有些已接近或达到国外先进水平。如 20—10FP500NC 超重型数控龙门铣床、PJ-1 喷漆机器人、125t 液压起重机、300t 立式弯板机、数控平面磨床和可编程序控制器等。

我国机械制造工业虽然取得了很大的成绩,但在生产制造技术方面,仍处于机械化生产为主的阶段。我国的机械制造技术与世界上先进工业国家在机械制造中的超精密加工技术(加工精度为 $0.1 - 0.001\mu\text{m}$, 含纳米级加工技术)和以计算机控制,具有柔性化、智能化、集成化特点的自动化制造技术相比较,尚存在着阶段性的差距。

因此,作为机械制造工业基础的机械制造工艺,面临着十分艰巨的任务。需要加快步伐,系统地、成套地研究制造工艺技术、加工装备和机械制造局部集成自动化系统,推广一批技术成套、设备完善的适用工艺和装备,改组改造加工工业,提高机械制造工业的产品质量和工艺技术水平。在今后 10 年和更长的时间内,制造技术的发展战略是:以新兴微电子、光电子技术,重大成套技术装备,基础机械的关键制造技术和轿车大批量制造技术为重点,把研究开发优质高

效精密工艺与装备、为新一代产品投产和形成经济规模生产提供新工艺、新装备为总目标,加强基础技术研究,积极消化掌握引进技术,提高自主开发能力,抓好技术储备、工艺与装备紧密结合和微电子技术的应用,形成常规制造技术、先进制造技术和高技术并存的多层次制造技术发展结构。

四、机械制造工艺学的研究对象

机械制造工艺是各种机械的制造方法和过程的总称。它包括零件的毛坯制造、机械加工、热处理和产品的装配等,内容十分广泛。然而,机械制造工艺学则是以机械加工和产品装配过程的工艺问题为主要研究对象的一门应用性技术科学。它在机械制造业中的大量生产基础上,诞生于本世纪 30 年代初期,40 年代发展成熟,50 年代以来,机械制造业向高精度、高效率、高度自动化和柔性化方向迈进,使其发展到一个新的水平。

机械制造工艺学所涉及的行业和产品虽然繁多,但研究的工艺问题一般可分为质量、生产率和经济性这三个方面。

1. 保证和提高产品的质量

近代宇航、军工、电子工业和精密机械等的发展,对零件的精度和表面质量提出了越来越高的要求,促使各种新工艺和新技术相继出现,加工质量不断提高。有关机械加工精度方面的统计资料表明,世界上机械加工的精度,在 19 世纪初时是 1mm 级,到 20 世纪初时提高到了 0.01mm 级。而近 30 年来,普通机械加工的精度已从 0.01mm 级提高到 0.005mm 级,精密加工的精度已从 $1\mu\text{m}$ 级提高到 $0.02\mu\text{m}$ 级,超精密加工的精度已从 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$ 级进入纳米级 ($0.001\mu\text{m}$)。日、美宣称他们已进入了“原子级 ($0.0001\mu\text{m}$) 加工”的时代。在表面粗糙度方面,日本在洁净室中用萤光碳素泡沫抛光剂和微细 SiO_2 粉末抛光工件,成功地获得了小于 $0.0005\mu\text{m}$ 的表面粗糙度。过去人们只注意表面粗糙度、波度和纹理等表面特征,忽视了表面之下 0.38mm 范围内的内部效应,即次表面效应对零件可靠性的影响。这方面尚需深入研究,采取相应措施,方能提高产品的使用寿命和可靠性。

2. 提高劳动生产率

提高劳动生产率方面:其一,是提高传统的切削加工效率。如采用新刀具材料(如超高速钢、陶瓷刀片、人造金刚石、立方氮化硼等)来提高切削速度,或者采用强力切削、缓进给磨削等高效率工艺方法缩短加工时间。国外车削钢的切削速度通常为 $200\text{m}/\text{min}$,最高达 $915\text{m}/\text{min}$,用带金刚石刀头的大直径平面铣刀加工铝合金的切削速度达 $3600\text{m}/\text{min}$ 。高速磨削速度达 $200\text{m}/\text{s}$,重型磨床一次磨削深度可达 20mm,工件进给量为 $1\text{mm}/\text{r}$ 。其二,是采用新的加工方法,以解决传统方法不能胜任的加工。如采用电加工、超声波加工、电子束加工和激光加工等,以加工那些新兴工业需要的难加工材料,复杂型面或型腔零件,以及特小深孔等。其三,是实现自动化生产,最大限度地减少机械加工的辅助时间和生产准备时间。如采用数控机床、自适应控制机床、群控加工设备、加工中心、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和无人化车间或工厂等;以及采用成组技术缩短生产准备时间,解决多品种、中小批生产周期长和生产效率低的问题。

3. 保证产品制造的经济性

产品的制造成本低,则经济性就好,要降低成本,必须节约与合理选择原材料,合理使用、维护和改进现有设备,研制高效设备。拟订工艺方案时,必须合理选择毛坯、加工方法、工装与

设备等,并通过经济分析或论证来确定,在保证零件技术要求的前提下,选择最经济的工艺方案。

产品的质量、生产率和经济性三者之间是相互联系和制约的,在分析、研究和解决具体的工艺问题时,需要全面考虑妥善处理好它们之间的辩证关系。

五、本课程的任务、内容、特点和学习方法

本课程是机械制造工艺及设备专业的一门主要专业课。它授予学生制订经济合理、切实可行的机械加工和装配工艺,确定各工序的工装与设备等方面的综合知识,以及基本的工艺理论和国内外先进的新工艺、新技术方面的知识;培养学生分析生产实际加工过程中产生误差的原因和存在的具体工艺问题,并能初步提出改进产品质量、提高生产率与降低成本的工艺途径和方法的能力。

本书着重阐述制订机械加工和装配工艺规程的有关基本知识,各类典型零件的加工工艺与方法,以及零件表面的精加工与光整加工等方面的内容。对机械制造工艺理论基础部分的内容,从实际需要出发,在广度和深度上作了相应的论述。同时,在新工艺、新技术方面,如特种加工、微细加工、成组技术、数控加工、计算机辅助工艺过程设计和制造、柔性制造系统与计算机集成制造系统等,亦作了适当的介绍或简介。

本课程的特点是实践性强、涉及面广、灵活性大。它涉及毛坯制造、热处理、机械加工方法、工艺装备、加工设备、产品装配、加工过程的质量控制和管理技术等各方面的知识。因此,应具备《机械制造基础》、《工程材料及热处理》、《互换性及技术测量》、《金属切削原理及刀具》、《金属切削机床》、《机床夹具设计》、《测试技术》、《计算机应用技术》和《企业管理》等课程的基础知识后,才能综合运用它们来学习、研究本课程的内容和探讨问题。

由于本学科的内容来自生产和科研实践,其理论的发展又促进和指导生产的发展;而工艺理论和方法的应用十分灵活,随具体情况的不同而千变万化。因此,要学好这门课程,既要懂得辩证法,还要熟悉各种机床、工具和加工方法,具备一定的机床操作经验和工厂生产实际知识。并应有足够时间的各种实践教学环节(如金工实习,生产实习,习题课,实验课,课程设计等)的配合。学习时,必须注意联系实际,多参加实践,在实践中学会灵活运用所学知识去根据具体情况进行辩证的分析 and 解决实际工艺问题;并注意用工人群众的创造革新和新的工艺技术研究成果来扩大自己的知识与提高工作能力,只有这样才能真正学好这门课程。

第一章 机械加工精度

§ 1-1 概 述

一、机械加工精度的概念和分类

机器的质量决定了机器的工作性能与使用寿命,而零件的加工质量是整台机器质量的基础。零件的加工质量一般用加工精度和加工表面质量两大指标来表示,本章主要研究加工精度的问题。

加工精度是指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状和位置)与理想几何参数的符合程度。实际参数与理想参数符合的程度越高则加工精度越高,反之,则加工精度越低。加工精度包括三个方面:

1. 尺寸精度

指加工后零件的实际尺寸与理想尺寸相符合的程度。

2. 形状精度

指加工后零件表面的实际几何形状与理想的几何形状(如绝对平面、绝对圆柱面、绝对渐开面、绝对螺旋面等)相符合的程度。

3. 位置精度

指加工后零件有关表面之间的实际位置与理想位置(绝对的平行、垂直、同轴等)符合的程度。

零件加工后的尺寸、形状、位置三方面的精度指标是互相关连的。

二、机械加工误差的概念和分类

实践证明,不可能将零件加工得绝对准确。零件加工后的实际几何参数对理想几何参数的偏离程度称为加工误差。“加工精度”和“加工误差”是从不同角度来评定零件几何参数准确程度这同一件事物的,加工精度的高与低是用加工误差的小与大来描述的。为了保证和提高加工精度,就必须采取措施消除或减少加工误差,并最终将加工误差控制在允许的范围内。

在机械加工中由机床、刀具、夹具和工件所组成的整个系统称为工艺系统。工艺系统中存在的种种误差称为原始误差。它总是以不同方式和不同比例反映出来使零件加工后产生实际误差,这种误差称为加工误差。

例如,如图 1-1 所示,当刀具在工件的法向(y 向)产生位移误差 Δy 时,工件直径 D 将产生误差 ΔD_y ,即

$$\Delta D_y = 2\Delta y$$

当刀具在工件的切向(z 向)产生位移误差 Δz 时,工件直径 D 将产生误差 ΔD_z ,其相互关系为

$$(R + \Delta R)^2 = R^2 + \Delta z^2$$

经化简并略去 ΔR^2 得

$$\Delta D_z \approx \frac{2(\Delta z)^2}{D}$$

设
即

$$\begin{aligned} D &= 100\text{mm} & \Delta y = \Delta z &= 0.1\text{mm} \\ \Delta D_y &= 0.2\text{mm} & \Delta D_z &= 0.0002\text{mm} \\ \Delta D_y &= 1000\Delta D_z \end{aligned}$$

可见, ΔD_y 对工件影响很大, 而 ΔD_z 可以忽略不计。通常把加工误差最大的方向, 即加工表面的法向称为误差敏感方向。

根据误差的来源不同, 原始误差可分为:

1. 几何误差

工艺系统的几何误差取决于工艺系统的结构和状态。例如, 加工方法的原理误差, 由制造和磨损所产生的机床几何误差和传动误差, 调整误差, 刀具、夹具和量具的制造误差, 工件的安装误差等。

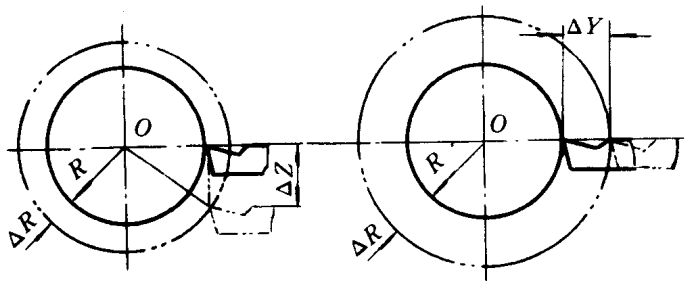


图 1-1 原始误差与表现误差

2. 过程误差

这一部分是与切削过程有关的误差。例如, 工艺系统受力变形, 工艺系统受热变形, 工件内应力所引起的误差, 刀具尺寸磨损等。

根据误差出现的规律不同, 它可分为:

1. 系统性误差

- (1) 系统性常值误差 误差的大小和方向保持不变的误差。
 - (2) 系统性变值误差 误差的大小或方向按一定规律变化的误差。
- 例如, 调整误差, 机床的几何误差, 刀具磨损, 工件受力变形等。

2. 随机误差

误差出现的大小和方向均无一定规律的误差。

例如, 毛坯硬度的差异, 加工余量的不均, 夹紧变形, 工件残余应力等。

加工误差的性质是随条件不同而变化的。例如, 对于一次调整加工出来的工件来说, 调整误差为系统性常值误差, 但是对于批量生产来说, 由于工件需多次调整, 这时每次调整所产生的误差则具有随机性。再如, 工艺系统热变形属于系统性变值误差, 但热平衡后此误差即变成了系统性常值误差。

三、获得机械加工精度的方法

1. 获得尺寸精度的方法

获得尺寸精度的方法有如下四种方法:

- (1) 试切法 通过试切—测量—调整—再试切, 反复进行到被加工尺寸达到要求为止的加工方法。图 1-2 为试切法车外圆。先在工件端部车出一小段外圆 D_1 。测量, 算出直径差 Δ 。根

据 Δ 值,重新调整刀具位置并试切。如此反复多次,直到试切尺寸达到要求,就可搭上机动走刀车出外圆面。

试切法达到的精度可能很高,由于需作多次调整、试切、测量、计算,因此,比较费时,效率低,且依赖技工水平,所以只用于单件小批生产。

(2)调整法 预先用样板、样件或根据试切工件来调整好刀具和工件在机床上的相对位置,然后加工一批工件,在加工这一批工件的过程中,不再调整,也不试切,即可保证达到被加工尺寸的要求。如在多刀加工中,刀具的位置是靠样件确定的(见图 1-3)。

调整法比试切法的加工精度稳定性好,并有较高的生产率,因此,适用于成批及大量生产。

(3)定尺寸刀具法 用刀具(或组合刀具)的相应尺寸来保证工件被加工部位尺寸的方法。

例如,钻孔、铰孔、拉孔、攻丝和用镗刀块镗孔,以及用组合铣刀铣多个槽。

定尺寸刀具法的加工精度,取决于刀具的精度和磨损,几乎与工人技术水平无关,生产率较高,在各种类型的生产中广泛应用。

(4)自动获得尺寸法 这种方法是由测量装置,进给装置和控制系统等组成自动控制加工系统,在加工中一旦工件达到要求的尺寸时,能自动停止加工。具体方法有两种:

一种是自动测量自动停止的方法。即机床上有自动测量工件尺寸的装置,在工件达到尺寸要求时,自动测量装置即发出指令使机床自动退刀并停止工作。

另一种是数字控制方法。即机床里装有整套数字控制装置用以控制刀架或工作台精确移动的步进马达,尺寸的获得由预先编制好的穿孔带,通过数字控制装置自动控制。

2. 获得形状精度的方法

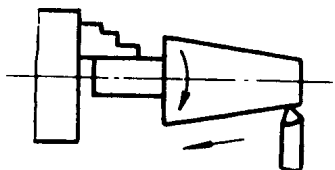


图 1-4 轨迹法加工

(1)轨迹法 这种加工方法是依靠刀尖运动轨迹来获得所要求的表面几何形状的。刀尖的运动轨迹取决于刀具和工件的相对运动(成形运动),如图 1-4(车圆锥面)所示。

(2)成形法 利用成形刀具对工件进行加工的方法。成形刀具切削刃的廓形就是工件外形。这种方法可以简化机床,提高生产率。加工精度取决于成形运动的精度,也取决于刀具的形状精度,如图 1-5(车球面)所示。

(3)展成法(滚切法) 利用工件和刀具作展成切削运动进行加工的方法。这种方法用于各种齿轮齿廓,花键键齿,蜗轮轮齿的加工。其特点是刀具的齿形或齿形的投影与所切工件槽形的任何截面形状不同,它是利用工件和刀具作展成切削运动进行加工的。如用滚刀加工齿轮。

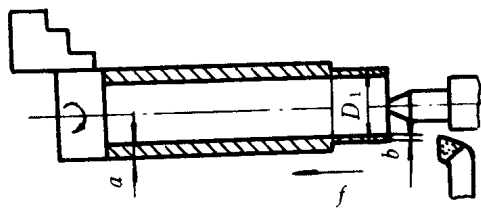


图 1-2 试切法
a—试切层 b—新切层

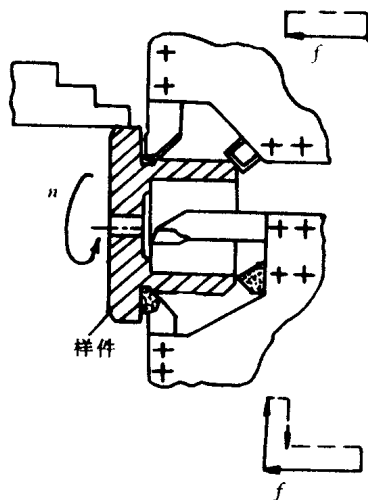


图 1-3 样件调整

用展成法加工,刀具除有切削运动以外,还要相对工件作相应的啮合运动(展成运动),工件被加工表面是刀刃在相应啮合运动中的包络面,如图 1-6 所示。

以上三种方法均为成形运动法。此外,还有非成形运动法,如手工刮研、手工研磨等。

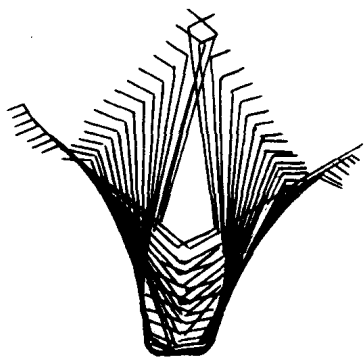


图 1-6 展成法加工

在机床上,利用量具或凭目力来校准或检查工件在机床上的位置,从而保证加工表面与定位基准面之间的位置精度。如图 1-7 所示是工件安装在四爪卡盘中的情况。

这种安装方法精度较高,但费时且对工人技术要求高,主要用于单件小批生产。

2)划线找正安装法 先按照零件图在毛坯上划出中心线、对称线及待加工表面的加工线,然后按照划好的线找正工件在机床上的位置,从而保证加工表面与定位基准面之间的位置精度。划线安装法的定位精度不高,主要用于批量不大、形状复杂的零件加工。

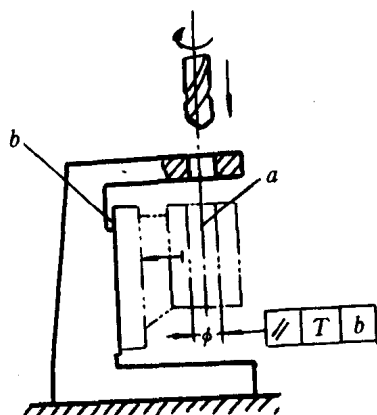


图 1-8 夹具定位安装法

统计表明,任何加工方法,其加工误差与加工成本之间的关系如图 1-9 所示。这条曲线可分为三部分:

3. 获得位置精度的方法

(1)一次安装法 有位置精度要求的零件各有关表面在同一次安装中加工出来,以保证其位置精度。精度的高低取决于机床的运动精度,如盘形齿轮坯的内孔与端面的垂直度。

(2)多次安装法 零件在加工时,经多次安装,其有关表面间的位置精度是由加工表面与工件定位基准面之间的位置精度决定的。

根据工件安装方式不同可分:

1)直接找正安装法 工件直接安装在机床上,利用量具或凭目力来校准或检查工件在机床上的位置,从而保证加工表面与定位基准面之间的位置精度。

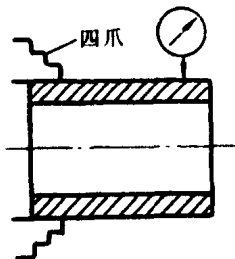


图 1-7 直接找正定位安装

3)在夹具中安装法 夹具以一定的位置安装在机床上,工件按六点定位的原则,在夹具中定位并夹紧,从而保证加工表面与定位基准面之间的位置精度。这种安装方法迅速、准确,且可保证一定的精度要求,主要用于成批和大量生产。如图 1-8 所示为工件 a,以其底面和凸缘上的孔在夹具的侧壁上采用一面双销(图上未示出)定位,并利用凸缘进行夹紧的安装情况。

四、加工经济精度

不同的加工方法所获得的加工精度是不同的,即使同一种加工方法,由于加工条件的不同,所能达到的加工精度也是不同的。如精车加工一般可达 IT7 IT8 级精度,若由高级技师进行精细操作也可能达到 IT6 IT7 级精度,但加工成本也提高了。

AB段:加工误差小精度高,但成本太高,不经济。

CD段:曲线与横坐标几乎平行,说明零件精度很低,但加工成本不能无限制下降,它必须消耗这种加工方法所要求的最低成本,所以既难以保证质量,也不经济。

BC段:可达到一定的加工精度,成本也不高,所以经济。

加工经济精度是指在正常加工条件下(采用符合质量标准的设备,工艺装备和标准技术等级的工人,不延长加工时间)所能保证的加工精度。它是几种不同的加工方法相互比较的结果。如图1-10所示表示车、磨外圆两种方法的比较,显然,当零件的公差小于 ΔA 时,采用磨削比较经济;而当零件公差大于 ΔA 时,采用车削比较经济。 ΔA 就是磨削加工经济精度的下限,也是车削加工经济精度的上限。

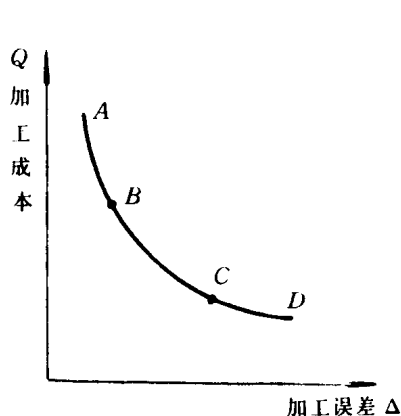


图 1-9 加工成本与加工误差

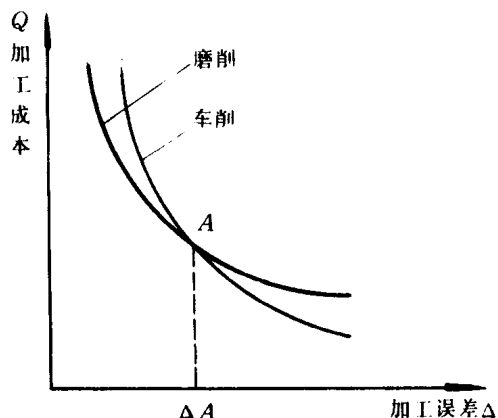


图 1-10 车磨外圆加工成本的比较

加工经济精度是变化的,它随着工艺技术的发展,设备和工装的改进而改变。

经济粗糙度的概念类同于加工经济精度。

各种加工方法的加工经济精度和粗糙度的参考数据见表1-1,详细内容可查阅有关手册。

表 1-1 各种加工方法的加工经济精度和粗糙度

被加工表面	加工方法	经济精度 (IT)	表面粗糙度 ($R_a/\mu\text{m}$)
外圆和端面	粗 车	11~13	12.5
	半 精 车	8~11	1.60~12.5
	精 车	7~8	0.80~1.60
	粗 磨	8~11	1.60~12.5
	精 磨	6~8	0.40~1.60
	研 磨	5	0.20
	超精加工	5	0.20
	精细车(金刚车)	5~6	0.20~0.40