

高等学校机械工程类系列教材

机械制造技术 上册

主编 王国顺 肖 华



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校机械工程类系列教材。

机械制造技术 上册

主 编 王国顺 肖 华
副主编 李 伟 刘淑兰



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术. 上/王国顺,肖华主编. —武汉:武汉大学出版社,2013. 12
高等学校机械工程类系列教材
ISBN 978-7-307-11531-6

I. 机… II. ①王… ②肖… III. 机械制造工艺—高等学校—教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 210238 号

责任编辑:谢文涛 责任校对:汪欣怡 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:376千字

版次:2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷

ISBN 978-7-307-11531-6 定价:28.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

序

机械工业是“四个现代化”建设的基础，机械工业涉及工业、农业，国防建设、科学技术以及国民经济建设的方方面面，机械工业专业人才的培养质量直接影响工业、农业、国防建设、科学技术的可持续发展，乃至影响国民经济的发展。高等学校是培养高新科学技术人才的摇篮，也是培养机械工程类专业高级人才的重要基础。但凡一所高等学校，学科建设、课程建设、教材建设应该是一项常抓不懈的工作，而教材建设是课程建设的重要内容，是教学思想与教学内容的重要载体，因此显得尤为重要。

为了提高高等学校机械工程类课程教材建设水平，由武汉大学动力与机械学院和武汉大学出版社联合倡议、组建 21 世纪高等学校机械工程类，现代工业训练类系列教材编委会，在一定范围内，联合若干所高等学校合作编写机械工程类系列教材，为高等学校从事机械工程类教学和科研的教师，特别是长期从事教学具有丰富教学经验的一线教师搭建一个交流合作编写教材的平台，通过该平台，联合编写教材，交流教学经验，确保教材的编写质量，突出教材的基本特色，同时提高教材的编写与出版速度，有利于教材的不断更新，极力打造精品教材。

本着上述指导思想，我们组织编撰出版了这套 21 世纪高等学校机械工程类系列教材和 21 世纪高等学校现代工业训练类系列教材，根据国家教育部机械工程类本科人才培养方案以及编委会成员单位（高校）机械工程类本科人才培养方案明确了高等学校机械工程类 42 种教材，以及高等学校现代工业训练类 6 卷 27 种教材为今后一个时期的出版工作规划，并根据编委会各成员单位（高校）的专业特色作了大致的分工，旨在努力提高高等学校机械工程类课程的教育质量和教材建设水平。

参加高等学校机械工程类及现代工业训练类系列教材编委会的高校有：武汉大学、华中科技大学、桂林电子科技大学、香港理工大学、广西大学、华南理工大学、海军工程大学、湖北汽车工业学院、湖北工业大学、中国地质大学、武汉理工大学、华中农业大学、长江大学、三峡大学、武汉科技大学、武汉科技学院、江汉大学、清华大学、广东工业大学、东风汽车有限公司、中国计量学院、中国科技大学、扬州大学等 20 余所院校及工程单位。

武汉大学出版社是被中共中央宣传部与国家新闻出版署联合授予的全国优秀出版社之一，在国内享有较高的知名度和社会影响力，武汉大学出版社愿尽其所能为国内高校的教学与科研服务。我们愿与各位朋友真诚合作，力争将该系列教材打造成为国内同类教材中的精品教材，为高等教育的发展贡献力量！

高等学校机械工程类及
现代工业训练类系列教材编委会
2011 年 1 月

目 录

绪论	1
第1章 典型表面的加工工艺	5
1.1 平面加工	5
1.1.1 平面的技术要求	5
1.1.2 平面加工方案分析	5
1.1.3 平面的加工方法	6
1.2 外圆表面加工	11
1.2.1 外圆表面的技术要求	11
1.2.2 外圆表面加工方案分析	11
1.2.3 外圆表面的加工方法	12
1.3 孔加工	21
1.3.1 内孔表面的技术要求	21
1.3.2 内孔表面加工方案分析	22
1.3.3 内孔表面的加工方法	23
1.4 成形表面加工	36
1.4.1 齿形加工	36
1.4.2 复杂型面的加工	43
第2章 机床夹具设计	51
2.1 概述	51
2.1.1 机床夹具的定义	51
2.1.2 机床夹具的作用	51
2.1.3 机床夹具的组成	51
2.2 工件的定位	52
2.2.1 六点定位原理	52
2.2.2 工件的定位方式与定位元件	56
2.2.3 定位误差	63
2.3 工件的夹紧	66
2.3.1 夹紧力的确定	67

2.3.2 典型夹紧机构	69
2.4 常见典型夹具	79
2.4.1 车床夹具	79
2.4.2 钻床夹具	80
2.4.3 镗床夹具	83
2.4.4 铣床夹具	87
第3章 机械加工工艺规程的制订	100
3.1 基本概念	100
3.1.1 工艺过程及其组成	100
3.1.2 生产纲领和生产类型	100
3.1.3 各种生产类型的工艺特征	102
3.1.4 工艺规程及其作用	102
3.2 零件工艺性分析及毛坯选择	105
3.2.1 零件工艺性分析	105
3.2.2 零件结构工艺性	106
3.2.3 毛坯的选择	110
3.3 机械加工工艺过程设计	112
3.3.1 定位基准的选择	112
3.3.2 零件的装夹和加工方法的选择	113
3.3.3 工艺路线的拟订	114
3.3.4 数控机床加工工艺设计	117
3.3.5 工艺过程技术经济分析和优化	120
3.4 工序设计	123
3.4.1 机床和工艺装备的选择	123
3.4.2 加工余量及工序尺寸的确定	123
3.4.3 切削用量的制订	126
3.4.4 时间定额的估算	127
3.4.5 工序简图绘制	127
3.5 工艺尺寸链	128
3.5.1 尺寸链的基本概念	128
3.5.2 尺寸链的计算公式	130
3.5.3 尺寸链的计算形式	132
3.5.4 工艺尺寸链的应用和解算方法	132
3.5.5 工艺尺寸链图表算法	138
3.5.6 计算机辅助计算工序尺寸	141
3.6 典型零件加工工艺分析	141

目 录	3
3.6.1 箱体加工	141
3.6.2 连杆加工	147
第4章 机械加工精度	157
4.1 工艺系统的几何误差	158
4.1.1 原理误差(Principle Error)	158
4.1.2 机床误差(Machine-tool Error)	158
4.1.3 夹具(Fixture)的制造误差和磨损	164
4.1.4 刀具(Cutting-tool)的制造误差和磨损	164
4.1.5 调整误差	165
4.2 工艺系统受力变形引起的加工误差	166
4.2.1 工艺系统的刚度	166
4.2.2 工艺系统受力变形对加工精度的影响	168
4.2.3 减少工艺系统受力变形的措施	172
4.2.4 工件残余应力引起的加工误差	173
4.3 工艺系统热变形引起的加工误差	174
4.3.1 工件热变形对加工精度的影响	175
4.3.2 刀具热变形对加工精度的影响	176
4.3.3 机床热变形对加工精度的影响	176
4.4 加工误差的综合统计分析	177
4.4.1 加工误差的性质	177
4.4.2 加工误差的统计分析方法	178
4.5 提高加工精度的工艺措施	184
第5章 机械加工表面质量	188
5.1 机械加工表面质量概述	188
5.1.1 表面质量的含义	188
5.1.2 机械加工表面质量对零件使用性能的影响	189
5.1.3 表面完整性的概念	191
5.2 影响加工表面粗糙度的主要因素及其控制措施	192
5.2.1 表面粗糙度的形成、影响因素及控制措施	192
5.2.2 减小表面粗糙度的加工方法	195
5.3 影响表面层物理、机械性能的主要因素	198
5.3.1 表面层加工硬化	198
5.3.2 表面层的金相组织变化与磨削烧伤	199
5.3.3 表面层的残余应力	201
5.3.4 表面强化(Surface Strengthening)工艺	202

5.4 机械加工中的振动	204
5.4.1 概述	204
5.4.2 强迫振动及其控制	205
5.4.3 自激振动及其控制	208
第6章 机器装配工艺基础	216
6.1 装配工作的基本内容	216
6.1.1 装配工作的主要内容	216
6.1.2 装配工作的组织形式	218
6.2 装配精度与装配尺寸链的建立	219
6.2.1 机器的装配精度	220
6.2.2 零件精度和装配精度的关系	221
6.2.3 影响装配精度的因素	221
6.2.4 装配尺寸链	223
6.3 保证装配精度的装配方法	230
6.3.1 互换装配法	230
6.3.2 选择装配法	231
6.3.3 调整装配法	232
6.3.4 修配装配法	234
6.4 装配工艺规程的制订	235
6.4.1 制定装配工艺过程的原则与所需原始资料	235
6.4.2 制定装配工艺过程的步骤与方法	236
参考文献	242

绪 论

1. 机械制造业在国民经济中的地位和作用

制造是人类最主要的生产活动之一。制造业是将资源(物料、能源、设备工具、资金、人力和信息等)通过制造过程转化成可供人们使用与利用的工业品和生活消费品的行业,它是国民经济的支柱产业和基础。有资料统计,制造业创造了人类社会财富的60%以上,占国民经济总收入的20%~30%,工业化国家中以各种形式从事制造活动的人员约占全国从业人数的四分之一。另一方面,制造业是整个工业、经济、科技与国防的基础。制造业的兴旺与发展事关一国国力的兴衰。制造技术是使原材料变成产品的技术总称。它是支持制造业发展的关键基础技术,制造技术的发展是一个国家经济持续增长的根本动力,先进的制造技术使制造业乃至国民经济处于有竞争力的地位。

机械制造业是制造业的重要组成部分,它为人类的生存、生产和生活提供各种现代化的装备,为国民经济各部门和科技、国防提供技术装备,是国民经济发展的重要支柱产业和先导部门,在国民经济中占有重要的地位,是一个国家或地区发展的重要支柱,它标志着一个国家的工业生产能力和科学技术的发展水平。可以说,机械制造业是国家的立国之本,没有发达的机械制造业,就不可能有国家的真正繁荣和富强。因此,世界各国都把发展机械工业作为发展本国经济的战略重点之一。

在各类机械制造部门中,金属切削机床是加工机器零件的主要设备,所担负的工作量占机械制造主要工作量的40%~60%,在机械制造企业拥有的所有装备中,机床占50%以上。机床及其他的制造装备是机械制造技术的重要载体。

当今电子技术、信息技术的迅速发展,传统机械制造业的面貌发生了巨大的变化,但这绝不是削弱了它的重要地位。忽视机械制造技术的发展,就会导致经济发展走入歧途。

2. 机械制造业和制造技术的发展

机械制造技术的历史源远流长,远在新石器时代,原始人已掌握琢钻和磨制技术。但在其后的很长一段历史时期内,机械制造技术发展较为缓慢,17世纪中叶,工场手工业兴起,一些传统机械雏形(水磨机、钟表等)出现,奠定了传统制造业发展的基础。以蒸汽机发明为标志的工业革命,促进了机械制造的发展并形成了机械制造业。1775年为加工蒸汽机的汽缸,研制成功镗床,此后陆续出现了车、铣、刨、插、齿轮加工、螺纹加工等各种机床。19世纪末至20世纪初,新型冶炼技术的发明和钢铁工业的发展,促进了机床的速度、功率、刚度和精度的提高及加工工艺的进步。此后,内燃机的发明和汽车大规模生产,对机械制造在加工精度、生产率、生产成本、生产过程自动化等方面不断提出了新的要求,与此相关技术(互换性技术、流水线生产方式等)的发展,促使了机械制造的理论与技术不断进步与发展,产生了工业技术的全面革命和创新。传统机械制造业及其大工业体系也随之建立和逐渐成熟。20世纪60年代以后,随着现代科学技术的迅猛

发展,特别是微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,机械制造业的面貌和内容都发生极为深刻的变革,制造技术由数控化走向柔性化、集成化、智能化。数控技术使机床结构发生了重大变化,例如,机床主传动系统采用直流或交流调速电动机,主轴实现宽范围无级变速,而传动结构大大简化;机床主运动和进给运动超高速化,以满足高速(或超高速)切削的需要;超高速铣床和加工中心主轴转速达 $20000 \sim 100000 \text{ r/min}$,机床工作台快速空程速度高达 75 m/min ,采用直线电动机传动装置时,其行程不受限制,快进速度可达 $150 \sim 210 \text{ m/min}$,运动加速度达 2.5 g 以上;精密和超精密机床定位精度达 $0.5 \sim 0.008 \mu\text{m}$,重复定位精度达 $0.005 \mu\text{m}$;数控机床的可靠性不断提高,数控装置平均无故障工作时间达 10000 h 以上。

随着加工设备的不断完善,机械制造精度不断提高。20 世纪初,精密加工的加工精度已达微米级;到 20 世纪 50 年代末,由于生产集成电路的需要,出现了各种微细加工技术。三十多年来,机械加工精度已提高到纳米(nm)级;即超精密加工,如量规、光学平晶和集成电路的硅基片的精密研磨抛光。纳米技术的应用,促进了机械学科、材料学科、光学学科、测量学科和电子学科的发展,未来将是微型机械、电子技术和微型机器人的时代,纳米技术与微型机械成为 21 世纪的核心技术之一。

近年来新材料不断涌现,其强度、硬度、耐热性等不断提高,促进并推动了机械加工方法的发展。一方面在传统的切削和磨削加工中采用新型刀具材料,如涂层刀具、陶瓷刀具(氧化铝陶瓷、金属陶瓷、氮化硅陶瓷等)及金刚石和立方氮化硼(PCBN)刀具,采用高速大功率的新型机床,如高速磨床、砂带磨床等进行高速和高效加工;另一方面,电火花加工、电化学加工、电子束加工、离子束加工、超声波加工、激光加工等特种加工方法,突破了传统的金属切削方法,在难加工材料加工、复杂型面加工、微细加工等领域已成为重要的加工方法或仅有的加工方法。同时,由于计算机技术的发展,促使加工技术与精密检测技术和数控技术、传感技术等相互结合,给机械制造领域带来许多新技术和新观念。发展高速切削、强力切削,提高切削加工效率也是制造技术发展的一种趋势,其关键在于机床和切削工具。干加工和准干加工、快速成形技术也在不断推广和迅速发展。现代机械制造技术面临着许多新的课题,有待不断开发和创新。

机械制造技术及其基础理论也在不断发展,主要表现在:①传统工艺在不断发展,新工艺不断涌现;②新的科学方法(如模型化方法、系统论、信息论、并行工程等)的广泛应用;③工艺过程向典型化、成组技术和生产专业化的方向、优化方向发展,并朝着设计、制造和管理的集成化、自动化和智能化方向迈进。先进制造技术是在传统制造技术的基础上,吸收机械、电子、信息、材料及现代管理等方面的新成果,并综合应用于制造全过程,以实现优质、高效、低消耗、敏捷及无污染生产的前沿制造技术的总称。它涉及机械科学、信息科学、系统科学和管理科学等综合学科,从产品设计、加工制造到产品销售及售前、售后服务的全过程,使制造技术成为生产过程中物质流、信息流、资金流的系统技术,它不仅仅满足高质、低消耗、价廉的要求,更注重追求敏捷和可持续发展的目标。

现代机械制造技术发展的总的趋势是机械制造科技与材料科技、电子科技、信息科技、生命科技、环保科技、管理科技等的交叉、融合。具体将主要集中在如下几个方面:

(1) 机械制造基础技术。切削(含磨削)加工仍然是机械制造的主导加工方法,提高生产率和质量是今后的发展方向。强化切削用量(如超高速切削等),高精度、高效切削机

床与刀具,最佳切削参数的自动优选,自动、快速换刀技术,刀具的高可靠性和在线监控技术,成组技术(GT),自动装配技术等将得到进一步的发展和应用。

(2)超精密及微细加工技术。各种精密、超精密加工技术,细微与纳米加工技术在微电子芯片、光子芯片制造,超精密微型机器及仪器,微机电系统(MEMS)等尖端技术及国防尖端装备领域中将大显身手。精密加工可以稳定地达到亚微米级精度,而扫描隧道显微(STM)加工和原子力显微(AFM)加工甚至可实现原子级的加工。微机电系统技术将应用于生物医学、航空航天、信息科学、军事国防以至于工业、农业、家庭等广泛的领域。

(3)自动化制造技术。自动化制造技术将进一步向柔性化、智能化、集成化、网络化发展。计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、计算机辅助装配工艺设计(CAAP)、快速成型(RP)等技术将在新产品设计方面得到更全面的应用和完善。高性能的计算机数控(CNC)机床、加工中心(MC)、柔性制造单元(FMC)等将更好地适应多品种、小批量产品的高质、高效加工制造。精益生产(LP)、准时生产(JIT)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)等先进制造生产管理模式将主导未来的机械制造业。

(4)绿色制造技术。在机械制造业中综合考虑社会、环境、资源等可持续发展因素的绿色制造(无浪费制造)技术,将朝着能源与原材料消耗最小,所产生的废弃物最小并尽可能回收利用,在产品的整个生命周期中对环境无害等方面发展。

新中国成立以来,我国的机械制造业与制造技术得到了长足发展,具有相当规模和一定技术基础的机械工业体系基本形成。改革开放 30 多年来,我国机械制造业充分利用国内外两方面的技术资源,使制造技术、产品质量和水平及经济效益有了显著提高。但与发达国家相比,仍然存在明显的差距。出口商品结构仍以中低档为主,高新技术机电产品、成套设备出口比例较低;产品竞争力不强。当今已进入知识经济时代,经济的全球化和贸易的自由化使国际经济竞争愈演愈烈,我国机械制造业正承受国际市场的巨大压力。因此,掌握并采用先进制造技术,就能拥有控制市场的主动权。赶超世界先进水平的重任,将落在我们这一代年轻人肩上。

3. 本课程的性质和主要内容

机械制造技术是机械设计制造与自动化及相近专业的一门重要的专业课。

机械制造技术是机械工程科学的一个分支学科,它是主要研究各种机械制造过程和方法的科学。机械制造工艺过程是指能够直接改变(或获得)零件(或毛坯)的形状、尺寸、相对位置和性质,使之成为成品或半成品的过程。常分为热加工工艺过程(如铸造、塑性加工、焊接、热处理、表面改性等)和冷加工工艺过程,本课程主要研究机械制造冷加工工艺过程方面的基本理论知识。

零件的机械加工工艺过程是生产过程的一部分,机械加工工艺立足于金属切削的基础理论(物理学、力学),其任务是如何利用切削的原理,使零件在尺寸精度、形状、位置精度和表面质量达到预定的设计要求。特种加工,如电火花加工、电解加工、激光加工、超声波加工和等离子加工等,也是机械加工工艺过程的一部分,但实际上已不属于切削加工的范畴。所以,每种制造工艺都有相应的应用理论为基础。机械制加工与其他加工相比,因其能达到的精度和表面质量是其他加工无法达到或很难达到的,在今后仍将是获得精密机械零件最主要的方法。

金属切削机床、特种加工机床、机器人以及机械加工工艺系统中的其他工艺装备是机

械制造的主要设备和工装,是实现机械制造的重要手段。研究各种机械制造设备和工装的设计和制造,发展新的设备和工装,是机械制造学科的一项重要任务。

4. 本课程的目的要求和特点

“机械制造技术”是为适应机械工程类宽口径专业“机械设计制造与自动化”及近机类(如仪器仪表、能源动力)、管理类(工业工程、工业管理等)专业的教学改革需要,重新规划并组织编写的一门专业基础课程,它与“机械制造基础”一起,将原传统的专业课程有机地融合为一体,构建成新的课程体系,使学生建立起较为完整的机械制造技术知识结构。课程的改革力度较大,全书以机械制造工艺为核心内容,质量、生产率、经济性为主线,贯穿以质量为中心的指导思想。为适应并符合机械工程类宽口径专业教学特点,全书贯彻拓宽知识面、精简内容、加强应用的原则,注重提高学生综合运用知识,解决实际问题的能力。机械制造的主要设备是机床,在本课程中编入了有关机床设计的内容。

本课程设置的目的要求是:

(1)掌握机械制造工艺的基本理论知识,能初步分析和处理与切削加工有关的工艺技术问题;能编制零件的机械加工工艺规程;初步具备综合分析机械制造工艺过程中质量、生产率和经济性问题的能力。

(2)了解金属切削机床的工作原理和主要结构,能根据工艺要求合理选择机床并能进行机床主传动系统和进给系统的结构设计。

(3)了解机床夹具的基本原理和知识,能根据工艺需要设计专用机床夹具。

(4)对机械制造新技术和发展趋势有一定的了解。

本课程的实践性很强,涉及的知识面很宽。因此要注意实践知识的学习和积累。课程的教学需要与金工实习、生产实习、现场教学、课程设计等多种教学环节密切配合,并努力运用现代化的教育手段与教学方法,这样才能以较少的学时,获得较理想的教学效果。

第1章 典型表面的加工工艺

机械产品都是由零件组成的,零件表面的结构形状各式各样,常见的典型表面有以下几种:平面、外圆表面、内孔表面和成形表面等。这些表面按其在机器中的作用不同,可分为两类:一是功能性表面,二是非功能性表面。功能性表面往往有较高的精度和表面质量要求,而非功能性表面的加工精度和表面质量则要求较低。由于组成表面的类型和要求不同,所采用的加工方法也不一样。本章将讨论这些常见的典型表面的加工工艺。

1.1 平面加工

平面是组成平板、支架、箱体、床身、机座、工作台以及各种六面体零件的主要表面之一。零件上常见的直槽、T形槽、V形槽、燕尾槽、平键槽等沟槽可以看做是平面(有时也有曲面)的不同组合。根据平面所起的作用不同,大致可以分为如下几种:

(1)非配合平面。这种平面不与任何零件相配合,一般无加工精度要求,只有当表面为了增加抗腐和美观时才进行加工。

(2)配合平面。这种平面多数用于零部件的连接面。如车床主轴箱、进给箱与床身的连接平面,一般要求精度和表面质量均较高。

(3)导向平面。如各类机床的导轨面,这种平面的精度和表面质量要求很高。

(4)端平面。指各种轴类、盘套类零件上与其旋转中心线相垂直的平面,多起定位作用。这类平面往往对垂直度、端面间的平行度和表面粗糙度有较高的要求。

(5)精密量具表面。如钳工的平台、平尺的测量面和计量用量块的测量平面等。这种平面精度和表面质量要求均很高。

1.1.1 平面的技术要求

(1)形状精度。指平面本身的直线度、平面度公差。

(2)位置尺寸及位置精度。指平面与其他表面之间的位置尺寸公差及平行度、垂直度公差等。

(3)表面质量。指表面粗糙度、表面波度和表层物理力学性能等。

1.1.2 平面加工方案分析

平面加工方案的选择,除根据平面的精度和表面粗糙度要求外,还应考虑零件的结构形状、尺寸、材料的性能和热处理要求以及生产批量等。通常有以下几种类型:

1. 低精度平面的加工

对精度要求不高的各种零件(淬火钢零件除外)的平面,经粗刨、粗铣、粗车等即可

达到要求。

2. 中等精度平面的加工

对于表面质量要求中等的非淬火钢件、铸铁件,视工件平面尺寸不同,有以下几种方案:

- (1)粗刨—精刨。此方案适于加工窄长平面。
- (2)粗铣—精铣。此方案适于加工宽大平面。
- (3)粗车—精车。此方案适于加工回转体轴、套、盘、环等类零件的端面。此外,大型盘类零件的端面,一般较宜在立式车床上加工。
- (4)粗插—精插。此方案适于封闭的内平面加工。

上述各种加工方案的表面粗糙度不大于 $Ra6.3 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。

3. 高精度平面的加工

视工件材料和平面尺寸不同,有以下5种方案:

- (1)粗刨—精刨—宽刃精刨(代刮研)。此方案适于加工未淬火钢件、铸铁件、有色金属等材料的窄长平面。
- (2)粗铣—精铣—高速精铣。此方案适于加工未淬火钢件、铸铁件、有色金属等材料的宽平面。
- (3)粗铣(粗刨)—精铣(精刨)—磨削。此方案适于加工淬火钢和非淬火钢件、铸铁件的各种平面。
- (4)粗车—精车—磨削。此方案适于加工回转体零件的台肩平面。其较小台肩平面采用普通外圆磨床加工;较大台肩平面用行星磨加工。
- (5)粗铣—拉削。此方案适用于大批大量生产除淬火钢以外的各种金属零件,不仅生产率很高,而且加工质量也较高。

上述各种加工方案的表面的粗糙度不大于 $Ra0.8 \sim 0.2\mu\text{m}$ 。

4. 精密平面的加工

对于有更高精度要求的平面,可在磨削后分别采用研磨、抛光,也可在铣、刨后采用刮研,使表面粗糙度不大于 $Ra0.4 \sim 0.12\mu\text{m}$ 。

常用的平面加工典型方案如图 1-1 所示。

应当指出,平面本身没有尺寸精度,图中的公差等级是指两平行平面之间距离尺寸的公差等级。

1.1.3 平面的加工方法

加工平面常用的机械加工方法有车削、铣削、刨削、宽刃细刨、刮研、普通磨削、导轨磨削、精密磨削、砂带磨削、超精加工、研磨和抛光等;特种加工方法有电解磨削平面和电火花线切割平面等。

1.1.3.1 平面的车削加工

平面车削一般用于加工回转体类零件的端面。因为回转体类零件的端面大多与其外圆表面、内圆表面有垂直度要求,而车削可以在一次安装中将这此表面全部加工出来,有利于保证它们之间的位置精度。

平面车削的表面粗糙度为 $Ra6.3 \sim 1.6\mu\text{m}$,精车后的平面度误差在直径为 100mm 的端

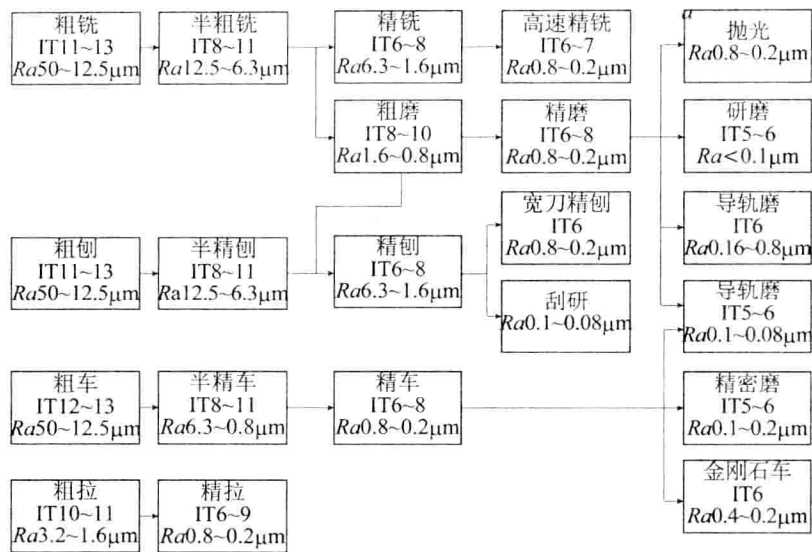


图 1-1 平面加工方案框图

面上最小可达 0.005 ~ 0.008mm。

中小型零件的端面一般在普通车床上加工；大型零件的平面则可在立式车床上加工。

1.1.3.2 平面的铣削加工

铣削是加工平面的主要方法之一。铣削平面一般适用于各种不同形状的沟槽、平面的粗加工、半精加工。平面铣削分粗铣和精铣。精铣后的表面粗糙度为 $Ra3.2 \sim 1.6\mu m$ ，两平面间的尺寸公差等级为 IT8 ~ IT7，直线度可达 0.08 ~ 0.12mm/m。在平面加工中，铣削加工用得最多，这主要是因为铣削生产率高。

平面铣削加工常用的设备有：卧式铣床、立式铣床、万能升降台铣床、工具铣床、龙门铣床等。中小型工件的平面加工常在卧式铣床、立式铣床、万能升降台铣床、工具铣床上进行，大型工件表面的铣削加工可在龙门铣床上进行。精铣平面可在高速、大功率的高精度铣床上采用高速精铣新工艺进行加工。

1. 粗铣平面

粗铣时应尽量设法增大单位时间内的金属切削量，以获得高的生产率。为此，对机床、夹具、刀具、工件均要求有足够的刚度，机床也应该有足够的功率。

2. 精铣平面

使用端铣刀加工平面时，若每齿进给量太大，加工表面粗糙；每齿进给量太小，又会加剧刀具的磨损，所以使用硬质合金端铣刀的每齿进给量不应小于 0.1mm。目前由于新型刀具材料的出现（硬质合金-陶瓷复合材料、立方氮化硼等），每齿进给量已达 0.4 ~ 1.2mm，切削速度可达 13m/s，精铣进给量已用到 1 ~ 2mm/min。

为了增加铣刀刀齿数，目前常采用密齿端铣刀。

精铣时，装端铣刀的主轴不能与进给方向垂直，否则，刀片和已加工表面会发生“扫刀”，不仅产生热量，加速刀片钝化，而且也会使加工表面粗糙度增加。当主轴倾斜一 α

角后(见图 1-2), 刀盘后部刀齿和工作表面即会有一间隙, 一般 $\alpha = 15' \sim 30'$ 。但这样铣出的平面将呈中凹形, 若转角甚小, 则中凹量可以控制在形状公差的范围之内。设中凹量为 Δ , 则

$$\Delta = l \tan \alpha \approx \left(R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{B}{2} \right)^2} \right) \alpha$$

$$= \left(\frac{D}{2} \right) \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{B}{D} \right)^2} \right) \alpha$$

式中: α ——端铣刀轴线倾斜角度, Rad;

D ——端铣刀切削直径, mm;

B ——铣削宽度, mm。

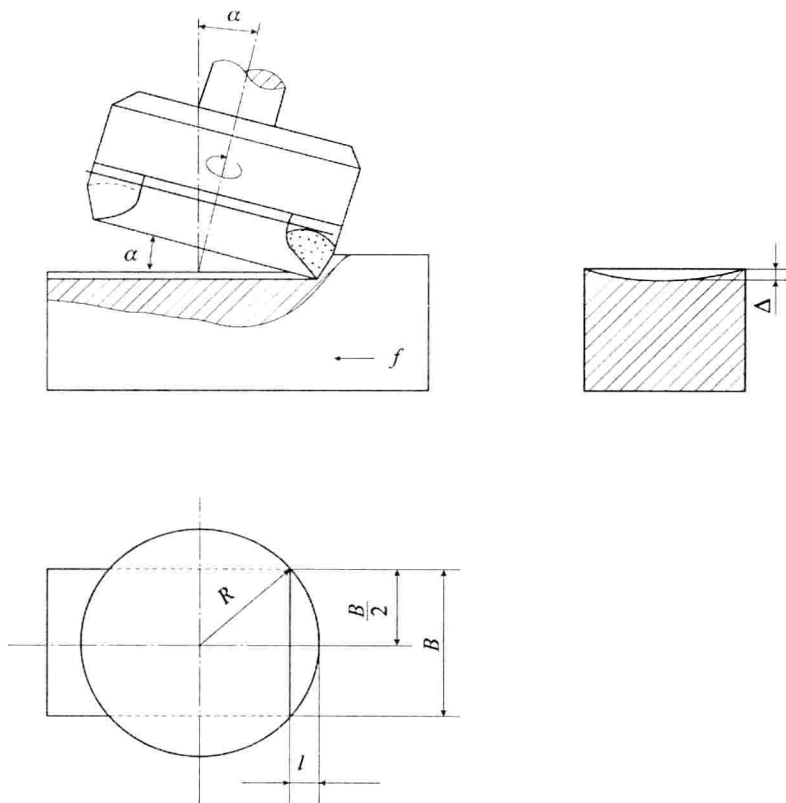


图 1-2 主轴转角

1.1.3.3 平面的刨削加工和拉削加工

刨削一般适用于水平面、垂直面、斜面、直槽、V形槽、T形槽、燕尾槽的单件小批量的粗加工、半精加工。拉削适用于尺寸较小平面的大批量加工。

平面刨削分粗刨和精刨。精刨后的表面粗糙度为 $Ra3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$, 两平面间的尺寸公差等级可达 IT8 ~ IT7, 直线度可达 $0.04 \sim 0.12/1000$ 。在龙门刨床上采用宽刀精刨技术, 其表面粗糙度可达 $Ra0.8 \sim 0.4 \mu\text{m}$, 直线度不大于 0.02mm/m 。对于窄长平面的加工来说,

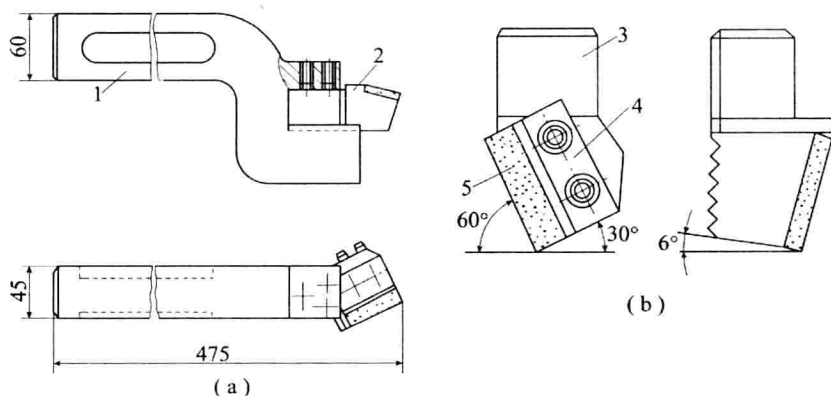
刨削加工的生产率也较高。拉削加工精度为 IT8 ~ IT7，直线度可达 0.08 ~ 0.12mm/m。

平面刨削常用的设备有牛头刨床、龙门刨床、插床等。牛头刨床一般用于加工中小型零件上的平面和沟槽；龙门刨床则多用于加工大型零件或同时加工多个中型零件上的平面和沟槽。孔内平面（如孔内槽，方孔）的加工一般在插床上进行。

拉削在卧式拉床、立式拉床或链式拉床上进行。

1. 粗刨平面

这种方法常用于单件小批生产，不采用夹具，按画线找正，使用通用刨刀进行加工。图 1-3 为机械夹固式 60°强力刨刀，这种刨刀适合于在龙门刨床上用于粗加工。刀杆与刀头基面连接采用牙嵌结构，用螺钉紧固。刀头与刀片的连接采用上压式，调整刃磨方便，根据被加工材料不同，可以随时更换刀片。图 1-3(b) 的刀头结构适用于加工铸铁。刀具的几何角度可以根据被加工材料确定。



1—刀杆 2—刨刀头 3—刀体 4—压板 5—刀片

图 1-3 机械夹固式 60°强力刨刀

2. 精刨平面

用精刨平面代替刮研能收到良好的效果，精刨时可以使用宽刃刨刀，也可使用窄刃刨刀。

对于定位表面与支承表面接触面积较大的机体，可以采用宽刃刨刀（见图 1-4），通称宽刀精刨。刨削时由于切削速度较低（2 ~ 12m/min），预刨余量 0.08 ~ 0.12mm，而终刨只刨去 0.03 ~ 0.05mm 一层极薄的金属，所以发热变形小。依靠正确的安装与仔细刃磨刀具，使用精度高、刚性好的机床，因此可以获得较低的表面粗糙度（ $Ra1.6 \sim 0.8\mu m$ ）和较高的加工精度（直线度可达 0.02/1000），而且生产率也很高。

精刨时刨刀前角有的为负值，有挤光作用；后角较小，可以增加后面支承，防止振动。加工铸铁时切削液通常用煤油，刨削前先将加工面均匀润湿，或在加工中连续喷射于刨刀的刀刃附近。

精刨的零件材料要组织均匀和硬度一致。预刨和终刨要用两把刨刀。

对于定位表面与支承表面接触面积小，刚性也较小的机体，为了减小切削力，防止工件变形，采用窄刀精刨也能收到良好的效果。