

XIANDAI ZHIZAO GONGYI
SHEJI FANGFA

现代制造工艺 设计方法

主 编 段明扬
副主编 王小纯 刘健斌 徐媛媛
主 审 华楚生

XIANDAI ZHIZAO GONGYI
SHEJI FANGFA

现代制造工艺 设计方法

主 编 段明扬

副主编 王小纯 刘健斌 徐媛媛

主 审 华楚生

GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

·桂林·

XIANDAI ZHIHAO GONGYI
SHIJI FANGFA

图书在版编目 (CIP) 数据

现代制造工艺设计方法 / 段明扬主编. — 桂林: 广西师范大学出版社, 2007.4

ISBN 978-7-5633-6543-2

I. 现… II. 段… III. 机械制造工艺—设计—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 048068 号

段明扬 段明扬 段明扬 段明扬 段明扬

段明扬 段明扬 段明扬 段明扬 段明扬

广西师范大学出版社出版发行

(广西桂林市中华路 22 号 邮政编码: 541001)
(网址: <http://www.bbtpress.com>)

出版人: 肖启明
全国新华书店经销

广西民族语文印刷厂印刷

(广西南宁市望州路 251 号 邮政编码: 530001)

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 13 字数: 267 千字

2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

印数: 0 001 ~ 1 100 册 定价: 28.60 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。

内 容 简 介

本书内容分为两篇,共7章。第一篇为现代制造工艺设计理论,介绍机械加工工艺规程设计的基本理论,以及介绍现代机械加工方法及其设备、刀具、夹具、切削用量选择的基本理论;第二篇为机床夹具学,介绍工件在夹具中的定位和夹紧,各种典型机床夹具、现代机床夹具和专用夹具的设计方法。全书以常规工艺设计为主体,同时注意反映新工艺新技术的最新进展,突出技术应用。

本书可供机械工程及其自动化专业及近机类专业的本科、专科、高职的学生作教材使用,也可供有关工程技术人员参考。

前 言

“现代制造工艺设计方法”是一门为适应宽口径机械类专业培养模式的需要而创建的新课程。新课程设置的目的是为宽口径新专业的学生奠定现代机械制造工艺设计方面最基本的应用知识基础。

《现代制造工艺设计方法》是“机械工程及其自动化”宽口径新专业及近机类专业的一本主要综合性专业教材。本教材是在学习“机械制造技术基本”课程之后,以“应用”为主旨,以“机械加工工艺规程设计”为主线,有机地融合多门专业基础课程和专业课程的内容而成的综合性课程教材。

为体现以“应用”为主旨,以主线为纲,有机地融合多门课程内容,建立适应宽口径机械类专业教学的全新课程体系,本教材编写有以下几个特点:

1. 本教材第一篇“现代制造工艺设计理论”,确立以“机械加工工艺规程设计(包括工艺规程的制订,机床、刀具、夹具及切削用量的选择等)为主线,把车削、铣削、钻削、镗削、铰削、拉削、磨削、刨削、插削、螺纹加工、齿轮加工等加工方法的金属切削机床、金属切削刀具、切削用量等相关知识有机地融合在机械加工工艺规程设计中,摒弃了把几门课程的内容浓缩后作为独立的课程体系合在一本教材中的方法,体现了本教材鲜明的综合性。

2. 本教材的第一篇增加了实用的、难以在一般手册中查到的切削用量、新牌号硬质合金性能及适用范围等图表;第二篇“机床夹具学”,突出了与机械加工工艺规程密切相关的机床夹具设计的有关实用知识和实例;书中还有大量的实例图表。体现了本教材的实用性。

3. 本教材除阐述常规工艺设计知识外,还增加了新工艺、新技术的应用及现代制造工艺设计的前沿学科知识和发展方向阐述,体现了本教材的先进性。

本教材建议讲授40学时,使用院校可根据具体情况增减,书中部分内容可供学生在进行设计实训时自学和参考。

全书由段明扬任主编,王小纯、刘健斌、徐媛媛任副主编,由华楚生任主审。

本教材在编写过程中得到各级部门和领导及部分教师的帮助和支持,谨表衷心感谢。

由于本教材的编写是教学改革的一次探索,更限于编者的水平,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2007年1月

目 录

第一篇 现代制造工艺设计理论

第一章 机械加工工艺规程设计

§ 1-1 基本概念	1
§ 1-2 零件分析及其图样的工艺审查	4
§ 1-3 毛坯的选择	4
§ 1-4 定位基准的选择	6
§ 1-5 工艺路线的制订	8
§ 1-6 机械加工余量、工序(或工步)尺寸及毛坯尺寸的确定	13
§ 1-7 机床与工艺装备的选择	16
§ 1-8 切削用量和工时定额的确定	17
§ 1-9 填写工艺文件和绘制工序图	20
第二章 加工方法及其机床和刀具及切削用量的选择	22
§ 2-1 车削加工及其机床和刀具及切削用量的选择	22
§ 2-2 铣削加工及其机床和刀具及切削用量的选择	45
§ 2-3 钻削、镗削、铰削与拉削加工及其机床和刀具及切削用量的选择	58
§ 2-4 磨削加工及其机床和刀具及切削用量的选择	87
§ 2-5 齿轮加工及其机床和刀具及切削用量的选取择	99
§ 2-6 其他加工方法及其机床和刀具及切削用量的选择	106

第二篇 机床夹具学

第一章 概述	124
§ 1-1 机床夹具概述	124
§ 1-2 工件在夹具中的定位概述	127
第二章 工件在夹具中的夹紧	132
§ 2-1 夹紧装置的组成和基本要求	132
§ 2-2 设计和选用夹紧装置的基本准则	133
§ 2-3 典型夹紧机构	136
§ 2-4 复合夹紧机构	143
§ 2-5 定心夹紧机构	147
§ 2-6 夹紧的动力源装置	149

§ 2-7	夹紧装置计算实例	153
§ 2-8	夹具的连接元件	154
§ 2-9	夹具的分度装置	157
§ 2-10	夹具体	160
第三章	典型机床夹具	163
§ 3-1	钻床夹具	163
§ 3-2	铣床夹具	172
§ 3-3	车床夹具	177
第四章	专用夹具的设计方法	182
§ 4-1	专用夹具设计的基本要求	182
§ 4-2	专用夹具的设计方法和步骤	183
§ 4-3	夹具总图上尺寸、公差配合和技术条件的标注	186
§ 4-4	夹具中工艺孔的应用	190
第五章	现代机床夹具	193
§ 5-1	自动线夹具	193
§ 5-2	组合(拼合)夹具	195
§ 5-3	通用可调夹具	197
§ 5-4	成组夹具	199
§ 5-5	数控机床夹具	200

夹具设计 第二版

§ 5-1	自动线夹具	193
§ 5-2	组合(拼合)夹具	195
§ 5-3	通用可调夹具	197
§ 5-4	成组夹具	199
§ 5-5	数控机床夹具	200

第一篇 现代制造工艺设计理论

第一章 机械加工工艺规程设计

§ 1-1 基本概念

一、工艺过程及其组成

1. 工艺过程 用机械加工方法来改变生产对象(毛坯)的形状、尺寸、相对位置和表面层性质等,使其成为合格零件的过程,称为机械加工工艺过程,本章简称“工艺过程”。

2. 工艺过程的组成 工艺过程由若干个按着一定顺序排列的工序组成。工序是工艺过程的基本单元,也是生产组织和计划的基本单元。工序又可细分为若干个安装、工位、工步及走刀(工作行程)等,见图 1.1-1。它们的含义见表 1.1-1。

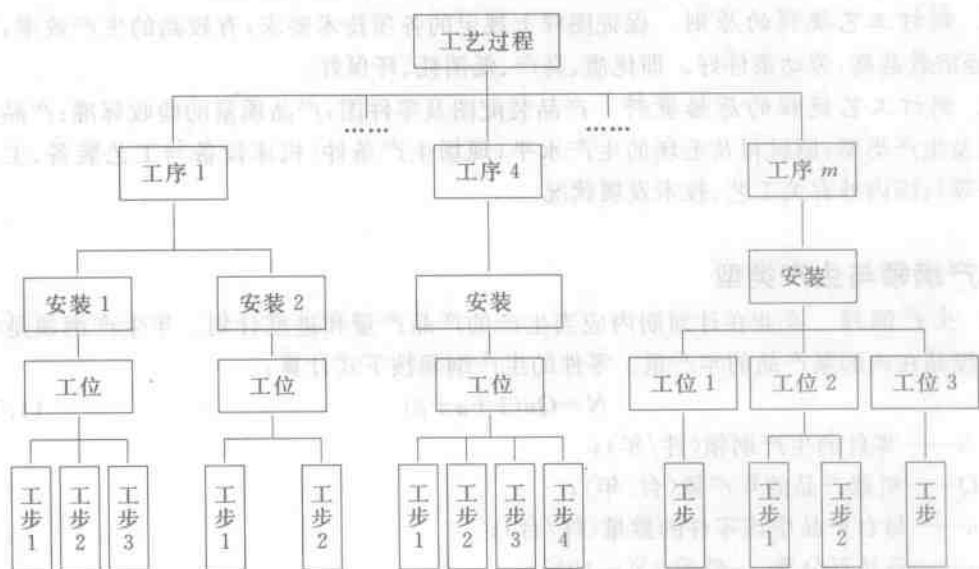


图 1.1-1 工艺过程的组成

表 1.1-1 工艺过程各组成部分的含义

名 称	含 义
工序	一个(或一组)工人,在一个工作地(或一台机床)上对一个(或同时对几个相同)工件进行加工所连续完成的那部分工艺过程
安装	工件经一次装夹后所完成的那部分工序
工位	工件一次装夹后,工件与夹具或设备的可动部分相对于刀具或设备的固定部分占据的每一位置所完成的那部分工序
工步	在加工表面和加工工具及切削用量(不包括背吃刀量 a_{pe})都不变的情况下所连续完成的那部分工序
走刀	在一个工步内当被加工表面的切削余量较大,需分几次切削时,则每进行一次切削称为一次走刀

二、工艺规程及其制订

1. 工艺规程 规定零件制造工艺过程和方法等的工艺文件。

2. 制订工艺规程的原则 保证图样上规定的各项技术要求,有较高的生产效率,技术先进,经济效益高,劳动条件好。即优质、高产、低消耗、环保好。

3. 制订工艺规程的原始资料 产品装配图及零件图,产品质量的验收标准;产品的生产纲领及生产类型;原材料及毛坯的生产水平;现场生产条件(机床设备与工艺装备、工人技术水平等);国内外有关工艺、技术发展状况。

三、生产纲领与生产类型

1. 生产纲领 企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。年生产纲领是包括备品和废品在内的某产品的年产量。零件的生产纲领按下式计算:

$$N = Qn(1 + \alpha + \beta) \quad (1.1-1)$$

式中 N ——零件的生产纲领(件/年);

Q ——机器产品的年产量(台/年);

n ——每台产品中该零件的数量(件/台);

α ——备品百分率,一般为 2%~10%;

β ——废品百分率,一般为 1%~2%。

2. 生产类型 企业(或车间、工段、班组、工作地)生产专业化程度的分类。一般分为大量生产、成批生产、单件生产三种类型。

3. 生产批量 一次投入或产出的同一产品(或零件)的数量。根据批量大小,成批生产又可分为小批、中批、大批生产。按其工艺的相似性,生产类型又可分为大批大量生产、中批生产、单件小批生产。

生产类型与生产纲领的关系见表 1.1-2;各种生产类型的特点见表 1.1-3。

表 1.1-2 生产类型与生产纲领的关系

生产类型		某类零件的年产量(件/年)		
		产品类型		
		重型机械	中型机械	轻型机械
单件生产		<50	<20	<100
成批生产	小批	5~100	20~200	100~500
	中批	100~300	200~500	500~5 000
	大批	200~1 000	500~5 000	5 000~50 000
大量生产		>1 000	>5 000	>50 000

表 1.1-3 生产类型的工艺特征

比较项目	单件生产	成批生产	大量生产
加工对象	经常变换,很少重复	周期性变换,重复	固定不变
零件互换性	钳工试配,互换性差	多数互换,保留某些试配	全部互换,高精度偶件配磨或选择装配
毛坯制造	木模造型、自由锻造,精度低、余量大	金属模造型或模锻,精度及余量中等	模锻、机器造型、压力铸造等高效方法,精度高、余量小
机床设备	通用设备	通用和专用、高效设备	自动、专用设备及自动线
机床布置	按机群布置	按加工零件分工段排列	按工艺路线布置成流水线或自动线
工件尺寸获得方法	试切法,划线找正	定程调整法,部分试切、找正	调整法自动化加工
夹具	通用夹具,组合夹具	通用、专用或成组夹具	高效专用夹具
刀具	通用标准刀具	专用或标准刀具	专用刀具
量具	通用量具	部分专用量具或量仪	专用量具,量仪和自动检验装置
工艺文件	编制简单的工艺过程卡片	较详细的工艺规程及关键工序的操作卡	编制详细的工艺规程、工序卡片及调整卡片
产品成本	较高	中等	低
生产率	传统方法生产率低,采用数控机床效率高	中等	高
工人技术水平	高	中	操作工人要求低,调整工人要求高
发展趋势	采用成组工艺、数控机床、加工中心及柔性制造单元	采用成组工艺、柔性制造系统或柔性自动线	采用计算机控制的自动化系统、车间或无人工厂,实现自适应控制

§ 1-2 零件分析及其图样的工艺审查

一、零件的分析

- (1) 了解零件的作用。
- (2) 进行零件的技术要求分析和工艺分析。

二、零件图样工艺审查的内容

根据生产、技术条件和对产品的使用要求,从工艺的角度出发,对零件图样进行如下内容的审查:零件图样的视图、尺寸、公差和技术要求的完整性与正确性,加工要求的合理性,零件结构的工艺性等。

三、零件图样的结构工艺性

零件结构的工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下,制造的可行性与经济性。

零件结构工艺性审查实例可参见有关教材和手册。

§ 1-3 毛坯的选择

一、选择毛坯应考虑的因素

1. 零件的力学性能要求 相同的材料采用不同的毛坯制造方法,其力学性能有所不同。铸铁件的强度,离心浇注、压力浇注的铸件,金属型浇注的铸件,砂型浇注的铸件依次递减;钢质零件的锻造毛坯,其力学性能高于钢质棒料和铸钢件。

2. 零件的结构形状和外廓尺寸 直径相差不大的阶梯轴宜采用棒料,相差较大时宜采用锻件。形状复杂的钢质零件不可用自由锻毛坯。形状复杂的毛坯不宜采用金属型铸造,薄壁零件不可用砂型铸造毛坯。中小型零件可用模锻件或压力铸造毛坯等。尺寸较大的毛坯,不宜采用模锻、压铸和精铸,多采用砂型铸造和自由锻造。外形复杂的小零件宜采用精密铸造方法(如压铸、熔模铸造等),以避免或减少机械加工。

3. 生产纲领和批量 生产纲领大时宜采用高精度与高生产率的毛坯制造方法,生产纲领小时,宜采用设备投资小的毛坯制造方法。

4. 现场生产条件和发展 应经过技术经济分析和论证。

二、毛坯的制造方法与工艺特点

见表 1.1-4。

表 1.1-4 常用毛坯的制造方法与工艺特点

毛坯制造方法		最大质量(kg)	最小壁厚(mm)	形状复杂程度	适用材料	生产类型	精度等级(CT)	毛坯尺寸公差(mm)	表面粗糙度(μm)	加工余量等级	生产率	其他
铸造	木模手工砂型	无限制	3~5	最复杂	铁碳合金, 有色金属及其合金	单件及小批生产	11~13	1~8		H	低	表面有气孔、砂眼, 结砂, 硬皮, 废品率高
	金属模机械砂型	至 250	3~5	最复杂	铁碳合金, 有色金属及其合金	大批大量生产	8~10	1~3		G	高	设备复杂, 工人水平可降低
	金属型浇注	至 100	1.5	一般	铁碳合金, 有色金属及其合金	大批大量生产	7~9	0.1~0.5	R _a 12.5~6.3	F	高	结构细密, 能承受较大压力
铸造	离心铸造	至 200	3~5	回转体	铁碳合金, 有色金属及其合金	大批大量生产		1~8	R _a 12.5		高	力学性能好, 砂眼少, 壁厚均匀
	压铸	10~16	0.5(锌) 10(其他合金)	取决于模具	有色金属合金	大批大量生产	6~8	0.05~0.15	R _a 6.3~3.2	E	最高	直接出成品, 设备昂贵
	熔模铸造	小型零件	0.8	较复杂	难加工材料	单件及小批生产	5~7	0.05~0.2	R _a 12.5~3.2	E	一般	铸件性能好, 便于组织流水生产, 直接出成品
	壳模铸造	至 200	1.5	复杂	铁和有色金属	小批至大批生产	8~10		R _a 12.5~6.3	G	一般	
锻造	自由锻造	无限制	无限制	简单	碳素钢、合金钢	单件及小批生产	14~16	1.5~10		3~5	低	技术水平高
	模锻(锤锻)	至 100	2.5	由锻模制造难易而定	碳素钢、合金钢	成批及大量生产	12~14	0.2~2	R _a 12.5		高	锻件力学性能好, 强度高
	精密模锻	至 100	1.5	由锻模制造难易而定	碳素钢、合金钢	成批及大量生产	11~12	0.05~0.1	R _a 6.3~3.2		高	要增加精压工序, 锻模精度高, 加热条件好, 变形小
冷挤压		小型零件		简单	碳素钢、合金钢、有色金属	大批大量生产	6~7	0.02~0.05	R _a 1.6~0.8		高	用于精度较高的小零件, 不需机械加工
板料冷冲压		(板料厚度 0.2~6)		复杂	各种板材	大批大量生产	9~12	0.05~0.5	R _a 1.6~0.8		高	有一定的尺寸、形状精度, 可满足一般装配使用要求
型材	热轧	(圆钢直径范围 Φ10~Φ250)		圆、方、扁、角、槽等形状	碳素钢、合金钢	各种批量生产	4~15	1~2.5	R _a 12.5~6.3		高	普通精度, 采用热轧
	冷轧	(圆钢直径范围 Φ3~Φ60)		圆、方、扁、角、槽等形状	碳素钢、合金钢	大批大量生产	9~12	0.05~1.5	R _a 3.2~1.6		高	精度高, 价格高, 适于自动及转塔车床
粉末冶金		(尺寸范围宽 5~120, 高 3~40)		简单	铁基、钢基	大批大量生产	6~9	0.02~0.05	R _a 0.4~0.1			成形后可不切削, 设备简单, 成本低
焊接	熔化焊	无限制	气焊 1 电弧焊 2 电渣焊 40	简单	碳素钢、合金钢	单件及成批生产	14~16	4~8			一般	制造简单, 生产周期短, 结构轻便, 抗震性差, 热变形大, 需时效消除内应力
	压焊		≤12									

§ 1-4 定位基准的选择

一、基准的定义与分类

1. 基准 零件上,用来确定其他点、线、面位置所依据的那些点、线、面。
2. 基准的分类及定义 见表 1.1-5。
3. 定位基准的分类及定义 见表 1.1-6。

表 1.1-5 基准的分类

类 别	定 义
设计基准	设计图样上所采用的基准
工艺基准	在工艺过程中采用的基准
工序基准	在工序图上用来确定本工序被加工表面尺寸的基准
定位基准	在加工中用作定位的基准
测量基准	测量时所采用的基准
装配基准	装配时用来确定零件或部件在产品中的相对位置所采用的基准

表 1.1-6 定位基准的分类

类 别	定 义
粗基准	采用未经加工过的铸造、锻造或轧制得到的表面作为定位基准面
精基准	用加工过的表面作为定位基准面
辅助基准	为满足工艺需要,在工件上专门设计的定位面

二、粗基准的选择原则

1. 保证不加工表面与加工表面相互精度原则 如果必须首先保证工件上加工表面与不加工表面之间的尺寸或位置精度要求,那么应以不加工表面作粗基准。如果在工件上有很多不需加工的表面,那么应以其中与加工面的尺寸、位置精度要求较高的表面作粗基准。
2. 保证重要表面加工余量均匀原则 如果必须首先保证工件某重要表面的加工余量均匀,应选择该表面作粗基准。
3. 保证加工余量最小的表面有足够的加工余量原则 如果工件上各表面都要求加工,为了保证各加工表面都有足够的加工余量,应选加工余量较小的表面作粗基准。
4. 保证工件装夹可靠原则 选作粗基准的表面应平整,没有浇口、冒口、飞边等缺陷,以便定位可靠。
5. 粗基准一般只能使用一次的原则 特别是主要定位基准应尽量避免重复使用,即使不是主要定位基准,在同一尺寸方向上通常也只允许使用一次,否则会产生较大的定位误差。

三、精基准的选择原则

1. 基准重合原则 用设计基准作为定位基准,实现“基准重合”,以免产生基准不重合误差。

2. 基准统一原则 当工件以某一组精基准定位可以较方便地加工很多表面时,应尽可能采用此组精基准定位,实现“基准统一”,以免产生基准转换误差,有利于保证零件各加工表面之间的相互位置精度。

3. 自为基准原则 当精加工或光整加工工序要求加工余量尽量小而均匀时,应选择加工表面本身作为精基准,即遵循“自为基准”原则。但自为基准加工,不能提高相互位置精度,只能提高尺寸精度和降低表面粗糙度。该加工表面与其他表面间的位置精度要求由先行工序保证。

4. 互为基准、反复加工原则 为获得均匀的加工余量或较高的位置精度,可遵循“互为基准、反复加工”的原则。

5. 装夹稳定可靠原则 当有多个表面都可作为基准供选择,即有多种方案可供选择时,应选择定位准确、稳定、夹紧可靠,可使夹具结构简单的表面作为精基准,即保证工件装夹稳定可靠的原则。

四、确定每道工序应消除的自由度和夹紧方式

定位是指在加工前,确定工件在夹具(或机床)上相对于刀具占有正确的加工位置。每道工序,必须根据该工序的加工技术要求,利用六点定位原理来分析确定该工序的工件在定位时应该消除(限制)的自由度。欠定位(按工序的加工技术要求,应该被限制的自由度而实际上没有全部被限制)决不允许存在(因为欠定位不能保证加工技术要求,加工出的工件是废品);而过定位(超定位或重复定位)只要不发生干涉或矛盾是允许存在的。过定位是指两个或两个以上的定位支承点重复(同时)限制同一个自由度。生产中常有过定位现象,其目的是利用重复定位来提高定位精度或支承的刚性和稳定性。

根据每道工序工件上已被选作定位基准面的形状,选择相应结构形状的定位元件,就可确定限制的自由度。

夹紧是指工件定位后用外力将其固定,使工件在加工过程中保持定位所确定的加工位置不变。因而,定位不等于夹紧。夹紧也不等于定位。使工件在夹具(或机床)上处于(确定)正确的加工位置,这是定位的任务;而将工件已取得的正确加工位置固定下来,则是夹紧的任务。简言之,“确定工件的位置”是定位的含义,而“固定工件的位置”是夹紧的含义,两者不能混淆。

每道工序除确定定位时应消除的自由度外,还要确定夹紧方式,即确定夹紧的动力源(机械夹紧、气动夹紧、液压夹紧、电磁夹紧等)、夹紧力方向、夹紧表面等。

利用表 1.1-7 中的符号,把确定应消除的自由度数标注在工序图中相应的定位基准上,把确定的夹紧动力源和夹紧力方向标注在工序图中的夹紧表面上。

表 1.1-7 定位与夹紧符号

标注位置 分类		独 立		联 动	
		标注在视图轮廓线上	标注在视图正面上	标注在视图轮廓线上	标注在视图正面上
定位点	固定式				
	活动式				
机械夹紧					
液压夹紧					
气动夹紧					
电磁夹紧					

注:定位符号旁边的阿拉伯数字,代表消除的自由度数目。

§ 1-5 工艺路线的制订

一、零件表面加工方法的选择

1. 零件表面加工方法选择应考虑的问题

(1) 被加工表面的几何特点决定了加工方法的选择范围。不同的加工表面是由不同机床运动关系和加工方法获得的。如外圆表面主要由车削和磨削方法获得;内孔表面主要由钻削、铰削、镗削、车削、磨削和拉削等方法获得;平面主要由刨削、铣削、车削、拉削和磨削等方法获得;齿面主要由滚齿、插齿、刨齿、剃齿、磨齿、车齿和铣齿等方法获得。所以,被加工表面

的几何特点决定了加工方法的选择范围。

(2)选择加工方法主要取决于被加工表面的技术要求。被加工表面的技术要求主要是指加工精度(尺寸精度、形状精度、位置精度)和表面质量(表面粗糙度等),还包括由于基准不重合而提高了对作为精基准表面的技术要求。不同的加工方法可得到不同的加工精度范围和表面粗糙度范围。在选择表面加工方法时,应选择经济的加工精度和表面粗糙度与零件表面要求的精度和表面粗糙度一致的加工方法。

一般地说,加工精度越高,表面粗糙度越低的加工方法的材料去除率(单位时间内切除的材料体积)越小,如果全部余量都用精工方法去除将极不经济。所以,在精加工之前要安排半精加工,在半精加工之前要安排粗加工作为预备加工。这样,对不同精度及粗糙度要求的加工表面就形成了若干典型的加工方法组合,即表面的加工路线(可参见表 1.1-8、表 1.1-9 和表 1.1-10)。

(3)选择加工方法还应考虑零件材料的性质及可加工性,零件的结构形状和尺寸大小,生产纲领及批量,工厂现有设备能力、技术条件及设备负荷的平衡等。

2. 典型表面加工方法及其加工经济精度

每种机械加工方法,在正常生产条件下,能较经济地达到的精度范围,称为该加工方法的经济精度。

(1)各种加工方法能够达到的尺寸经济精度与表面粗糙度见表 1.1-8、表 1.1-9 和表 1.1-10。

表 1.1-8 外圆表面加工路线及其能达到的经济精度与表面粗糙度

序号	加工方法	经济精度 (IT)	表面粗糙度 $R_a(\mu\text{m})$	适用范围
1	粗车	11~13	12.5~6.3	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车→半精车	8~10	6.3~3.2	
3	粗车→半精车→精车	6~9	1.6~0.8	
4	粗车→半精车→精车→滚压(或抛光)	6~8	0.2~0.025	
5	粗车→半精车→磨削	6~8	0.8~0.4	适用于淬火钢、未淬火钢
6	粗车→半精车→粗磨→精磨	5~7	0.4~0.1	
7	粗车→半精车→粗磨→精磨→超精加工	5~6	0.1~0.012	
8	粗车→半精车→精车→精磨→研磨	5级以上	<0.1	
9	粗车→半精车→粗磨→精磨→超精磨(或镜面磨)	5级以上	<0.05	适用于有色金属
10	粗车→半精车→精车→金刚石车	5~6	0.2~0.025	

表 1.1-9 内圆表面加工路线及其能达到的经济精度与表面粗糙度

序号	加工方法	经济精度 (IT)	表面粗糙度 $R_a(\mu\text{m})$	适用范围
1	钻	12~13	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属(但表面粗糙度稍粗大),孔径<15~20mm
2	钻→铰	8~10	3.2~1.6	
3	钻→粗铰→精铰	7~8	1.6~0.8	
4	钻→扩	10~11	12.5~6.3	同上,但孔径>15~20mm
5	钻→扩→粗铰→精铰	7~8	1.6~0.8	
6	钻→扩→铰	8~9	3.2~1.6	
7	钻→扩→机铰→手铰	6~7	0.4~0.1	大批量生产,精度视拉刀精度而定
8	钻→(扩)→拉	7~9	1.6~0.1	
9	粗镗(或扩孔)	11~13	12.5~6.3	
10	粗镗(扩)→半精镗(精扩)	9~10	3.2~1.6	毛坯有铸孔或锻孔的未淬火钢及铸件
11	扩(镗)→铰	9~10	3.2~1.6	
12	粗镗(扩)→半精镗(精扩)→精镗(铰)	7~8	1.6~0.8	
13	镗→拉	7~9	1.6~0.1	
14	粗镗(扩)→半精镗(精扩)→精镗→浮动镗刀精镗	6~7	0.8~0.4	
15	粗镗→半精镗→磨孔	7~8	0.8~0.2	淬火钢或非淬火钢,但不宜用于有色金属
16	粗镗(扩)→半精镗→粗磨→精磨	6~7	0.2~0.1	
17	粗镗→半精镗→精镗→金刚镗	6~7	0.4~0.05	有色金属精加工
18	钻→(扩)→粗铰→精铰→珩磨	6~7	0.2~0.025	黑色金属高精度大孔的加工
	钻→(扩)→拉→珩磨			
	粗镗→半精镗→精镗→珩磨			
19	以研磨代替上述方案中的珩磨	6级以上	0.1以下	
20	钻(粗镗)→扩(半精镗)→精镗→金刚镗→脉冲滚挤	6~7	0.1	有色金属及铸件上的小孔