

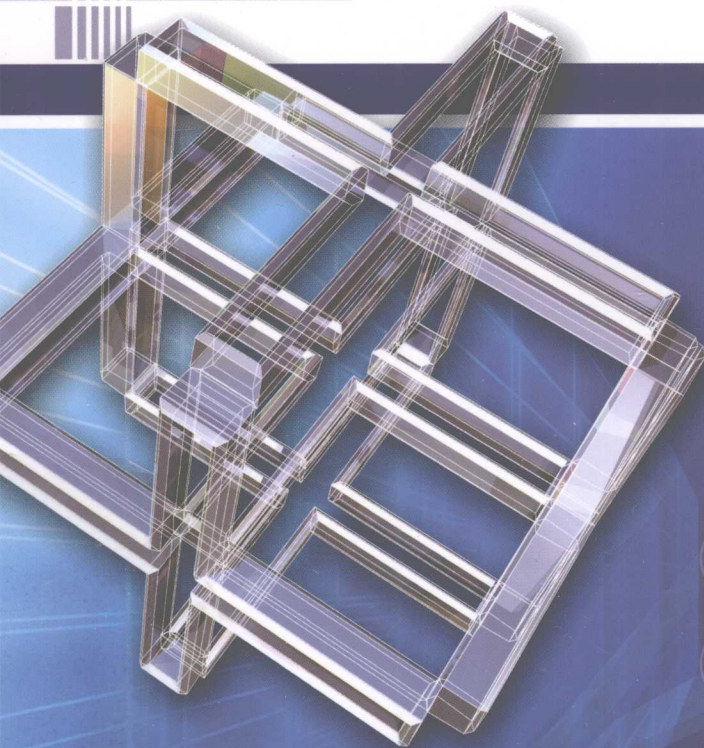


“十一五”重点规划教材

New Century Mechanical Series
新世纪机械系列丛书

机械制造工艺学

主编 / 赵长发



 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

TH16/114=2

2008

“十一五”重点规划教材

New Century Mechanical Series

新世纪机械系列丛书

机械制造工艺学

主 编 赵长发

副主编 黄国权 任正义

主 审 单忠臣

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

全书共分六章,主要内容包括:机械加工工艺规程制定、机床夹具设计、机械加工精度、机械加工表面质量、装配工艺规程制定及先进制造技术。另外,为了便于学习,部分章节后附有习题与思考题。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业及相关专业的教材,也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学/赵长发主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2008.4

ISBN 978-7-81133-249-0

I.机… II.赵… III.机械制造工艺 IV.TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 040244 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1 092mm 1/16

印 张 15.5

字 数 374 千字

版 次 2008 年 4 月第 1 版

印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书是根据“机械设计制造及其自动化”专业教学指导委员会推荐的指导性教学计划,结合作者多年来的教学实践,并参考了兄弟院校近年来出版的教材编写而成的。为便于读者学习和使用,本书大部分章节后都附有习题与思考题。

进入 21 世纪,随着科学技术的迅猛发展,传统的制造技术已进入现代制造技术的新阶段,机械制造工艺学则是现代制造技术的主要基础之一。

本书的编写力求贯彻“少而精”的原则。通过课程的学习及相关教学环节的配合,使读者掌握机械制造工艺的基本知识、基本理论和生产实践知识,提高分析和解决有关制造工艺问题的能力,了解现代制造技术的新成就和发展动向,从而满足专业培养目标的需要。

本书第 1 章、第 2 章由赵长发编写,第 3 章、第 4 章由黄国权编写,第 5 章、第 6 章由任正义编写。全书由赵长发统稿并任主编,黄国权、任正义任副主编。全书由单忠臣教授校核并任主审。

本书在成稿之前得到了哈尔滨工程大学许多同志的指导、支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2008 年 3 月

目 录

1	机械加工工艺规程的制定	1
1.1	基本概念	1
1.2	机械加工工艺规程	5
1.3	工艺审查与毛坯选择	9
1.4	工艺过程设计	11
1.5	工序设计	19
1.6	工艺尺寸链	23
1.7	时间定额及提高劳动生产率的工艺途径	31
1.8	工艺过程方案的技术经济分析	34
	习题与思考题	36
2	机床夹具设计	40
2.1	概 述	40
2.2	工件的定位	43
2.3	工件的夹紧	59
2.4	夹具的其它元件及装置	74
2.5	典型机床夹具设计要求	78
2.6	专用夹具设计方法与步骤	81
	习题与思考题	82
3	机械加工精度	86
3.1	概 述	86
3.2	工艺系统制造误差及磨损对加工精度的影响	90
3.3	工艺系统的受力变形	97
3.4	工艺系统的热变形	107
3.5	加工过程的其它误差	112
3.6	加工误差的统计分析	117
3.7	保证和提高加工精度的主要方法	131
	习题与思考题	133
4	机械加工表面质量	137
4.1	概 述	137
4.2	加工表面粗糙度及其改善措施	140
4.3	表面物理力学性能变化及其改善措施	143
4.4	机械加工中的振动	154
	习题与思考题	166
5	装配工艺规程的制定	167
5.1	概 述	167

5.2 装配尺寸链	174
5.3 装配工艺规程的制定	190
习题与思考题	197
6 先进制造技术	199
6.1 超精密加工技术	199
6.2 柔性制造自动化技术	215
6.3 先进生产模式	222
参考文献	239

1 机械加工工艺规程的制定

1.1 基本概念

1.1.1 生产过程与工艺过程

生产过程是指机械产品从原材料开始到成品之间各相互关联的劳动过程的总和。它包括原材料的运输和保管、生产技术准备、毛坯制造、零件加工与热处理、部件和产品的装配、检验调试及油漆包装等。

在生产过程中按一定顺序逐渐改变生产对象的形状(铸造、锻造等)、尺寸(机械加工)、相对位置(装配)和性质(热处理)使其成为成品的过程称之为工艺过程。因此,工艺过程又可具体地分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理和装配等工艺过程。本课程的内容主要是研究机械加工工艺过程中的一系列问题。

1.1.2 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的,而工序又可分为安装、工位、工步和行程等。

1. 工序

一个(或一组)工人,在一个工作地点,对一个(或同时几个)工件所连续完成的那部分工艺过程叫做工序。工序是工艺过程的基本单元,也是生产计划的基本单元。

图 1-1 所示的阶梯轴,如果各表面都需要进行机械加工,则根据其产量和生产车间的不同,应采用不同加工方案。属于单件小批生产时可用表 1-1 方案加工;如果属于大批大量生产,则应改用表 1-2 方案加工。

表 1-1 单件小批生产的工艺过程

工序	内 容	设 备
1	车端面,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	内 容	设 备
1	铣两端面,打中心孔	专 用 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

2. 工步

在加工表面和加工工具都不变的情况下,所连续完成的那一部分工序叫工步。

在表 1-1 中,工序 1 和 2 由于加工表面和刀具依次都在改变,所以这两个工序都包括四个工步。

为了提高生产效率,采用几把刀具或一把复合刀具同时加工一个或几个表面可算作一个工步,称为复合工步。如图 1-2 和图 1-3 所示。

3. 安装

在一个加工工序中,有时需要对零件进行多次装夹加工,工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。表 1-1 中的工序 1 和 2 都是两个安装。

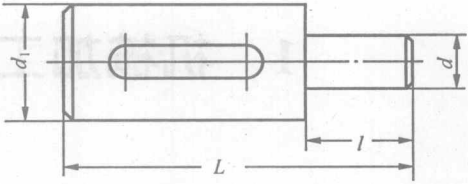


图 1-1 阶梯小轴

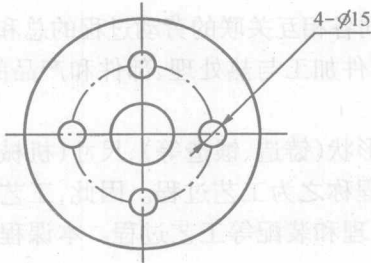


图 1-2 包括四个相同表面加工的复合工步

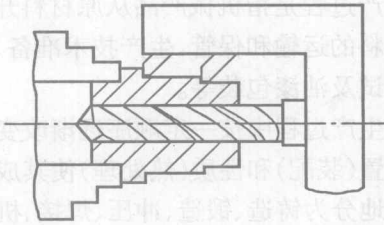


图 1-3 多刀加工的复合工步

4. 工位

为完成一定的工序内容,一次装夹工件后,工件与夹具或机床的可动部分一起相对刀具或机床的固定部分所占据的每一个位置,称为工位。

采用多工位夹具、回转工作台或在多轴机床上加工时,工件在机床上一次安装后,就要经过多工位加工。多工位加工可减少工件安装次数,从而缩短了工时,提高了效率。图 1-4 所示为利用回转工作台,在一次安装中顺次完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔等四工位加工实例。

5. 行程

有些工步,由于余量较大,需要同一刀具对同一表面进行多次切削,刀具对工件每切削一次就称为一次行程。如图 1-5 所示。

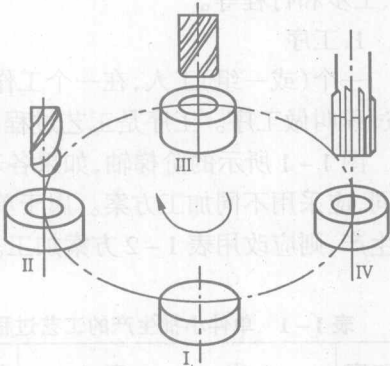


图 1-4 多工位加工

工位 I—装卸工件;工位 II—钻孔;
工位 III—扩孔;工位 IV—铰孔

1.1.3 生产纲领与生产类型

虽然各种机械产品的结构、技术要求不同,但其制造工艺则存在着很多共同的特征。这些共同的特征取决于企业的生产类型,而生产类型又由生产纲领决定。

1. 生产纲领

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。计划期常定为一,

所以生产纲领也称年产量。

零件的生产纲领要计入备品和废品的数量,可按下式计算,即

$$N = Qn(1 + \alpha + \beta)$$

式中 N ——零件的年产量,件/年;

Q ——产品的年产量,台/年;

n ——每台产品中,该零件数量,件/台;

α ——备品的百分率;

β ——废品的百分率。

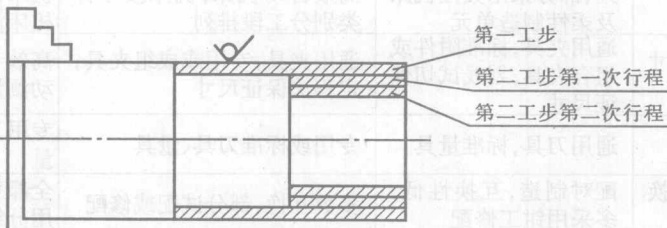


图 1-5 棒料车削加工成阶梯轴的多次行程

2. 生产类型

生产类型是指企业生产专业化程度的分类。一般分为单件生产、成批生产和大量生产三种类型。

(1) 单件生产

产品产量很少,品种很多,各工作地加工对象经常改变,很少重复。例如,重型机械制造、专用设备制造和新产品试制等都属于单件生产。

(2) 成批生产

一年中分批轮流地制造几种不同的产品,每种产品均有一定的数量,工作地的加工对象周期地重复。例如,通用机床及电机等生产都属于成批生产。

(3) 大量生产

产品产量很大,工作地的加工对象固定不变,长期进行某零件的某道工序的加工。例如汽车、轴承等生产都属于大量生产。

生产类型不同,则零件的加工工艺、工艺装备、毛坯制造等工艺特点也不同。

生产类型对零件工艺规程制定影响很大。此外,生产同一产品,大量生产一般具有生产效率高、成本低、质量可靠、性能稳定等优点。因此,应大力推广产品结构的标准化、系列化,以便组织专业化的大批量生产,从而提高经济效益。推行成组技术,以及采用数控机床、柔性制造系统和计算机集成制造系统等现代化的生产手段和方式,实现机械产品多品种、小批量生产的自动化,是当前机械制造工艺的重要发展方向。

各种生产类型的生产纲领及工艺特点如表 1-3 所示。

1.1.4 基准

基准是用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。一个几何关系只有一个基准。

表 1-3 各种生产类型的生产纲领及工艺特点

单位:件

生产类型 纲领及特点		单件生产	成批生产			大量生产
			小 批	中 批	大 批	
产品类型	重型机械	< 5	5 ~ 100	100 ~ 300	300 ~ 1 000	> 1 000
	中型机械	< 20	20 ~ 200	200 ~ 500	500 ~ 5 000	> 5 000
	轻型机械	< 100	100 ~ 500	500 ~ 5 000	5 000 ~ 50 000	> 50 000
工艺特点	毛坯的制造方法及加工余量	自由锻造,木模手工造型;毛坯精度低,余量大	部分采用模锻,金属模造型;毛坯精度及余量中等		广泛采用模锻,机器造型等高效方法;毛坯精度高、余量小	
	机床设备及机床布置	通用机床按机群式排列;部分采用数控机床及柔性制造单元	通用机床和部分专用机床及高效自动机床;机床按零件类别分工段排列		广泛采用自动机床、专用机床,采用自动线或专用机床流水线排列	
	夹具及尺寸保证	通用夹具,标准附件或组合夹具;划线试切保证尺寸	通用夹具,专用或成组夹具;定程法保证尺寸		高效专用夹具;定程及自动测量控制尺寸	
	刀具、量具	通用刀具,标准量具	专用或标准刀具、量具		专用刀具、量具,自动测量	
	零件的互换性	配对制造,互换性低,多采用钳工修配	多数互换,部分试配或修配		全部互换,高精度偶件采用分组装配、配磨	
	工艺文件的要求	编制简单的工艺过程卡片	编制详细的工艺规程及关键工序的工序卡片		编制详细的工艺规程、工序卡片、调整卡片	
	生产率	用传统加工方法,生产率低,用数控机床可提高生产率	中等		高	
	成本	较高	中等		低	
	对工人的技术要求	需要技术熟练的工人	需要一定熟练程度的技术人员		对操作工人的技术要求较低,对调整工人的技术要求较高	
	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,用柔性制造系统或柔性自动线		用计算机控制的自动化制造系统、车间或无人工厂,实现自适应控制	

注:“重型机械”、“中型机械”和“轻型机械”可分别以轧钢机、柴油机和缝纫机作代表。

根据作用的不同,基准可分为设计基准和工艺基准两大类。

1. 设计基准

设计基准是零件设计图样上所采用的基准。例如,图 1-6 所示三个零件图样,图 1-6(a)中对尺寸 20 mm 而言,B 面是 A 面的设计基准,A 面也是 B 面的设计基准,它们互为设计基准。图 1-6(b)中对同轴度而言, $\phi 50$ mm 的轴线是 $\phi 30$ mm 轴线的基准;而 $\phi 50$

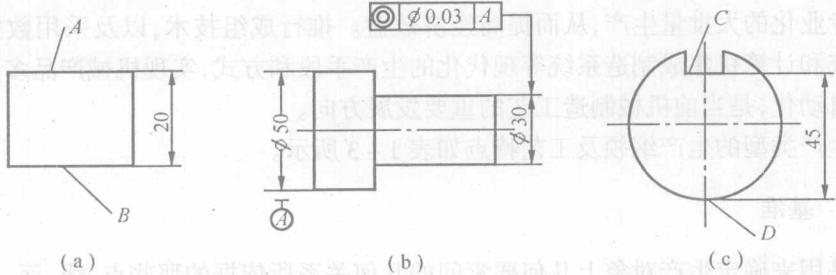


图 1-6 设计基准的实例

mm 圆柱面的设计基准是 $\phi 50$ mm 的轴线, $\phi 30$ mm 圆柱面的设计基准是 $\phi 50$ mm 的轴线。图 1-6(c) 中对尺寸 45 mm 而言, 圆柱面的下素线 D 是槽底面 C 的设计基准。又如如图 1-7 所示主轴箱体图样, 顶面 F 的设计基准是底面 D , 孔 III 和孔 IV 轴线的设计基准是底面 D 和导向侧面 E , 孔 II 轴线的设计基准是孔 III 和孔 IV 的轴线。

2. 工艺基准

工艺基准是在加工和装配过程中所采用的基准。它包括:

(1) 工序基准

在工序图上用来确定本工序加工表面加工后的尺寸、位置的基准。

(2) 定位基准

工件在机床上或夹具上加工时用作定位的基准。

(3) 测量基准

工件在测量时所采用的基准。

(4) 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。

图 1-8(a) 所示为短阶梯轴的三个设计尺寸 d 、 D 和 C , 圆柱面 I 的设计基准是 d 尺寸段的轴线, 圆柱面 II 的设计基准是 D 尺寸段的轴线, 平面 III 的设计基准是含 D 尺寸段轴线的平行平面。图 1-8(b) 所示是平面 III 的加工工序简图, 定位基准都是 d 尺寸段的圆柱面 I。有时可用轴线替代圆柱面。为了区别其不同, 也有把轴线称为定位基准、把圆柱面称为定位基面的。加工工序要求是尺寸 C , 即工序基准是含 D 尺寸段轴线的平行平面; 第二方案的工序要求是尺寸 $C + D/2$, 即工序基准是圆柱面 II 的下素线。图 1-8(c) 所示是两种测量平面 III 的方案。第一种方案是以外圆柱面 I 的上素线为测量基准, 第二方案是以外圆柱面 II 的素线为测量基准。

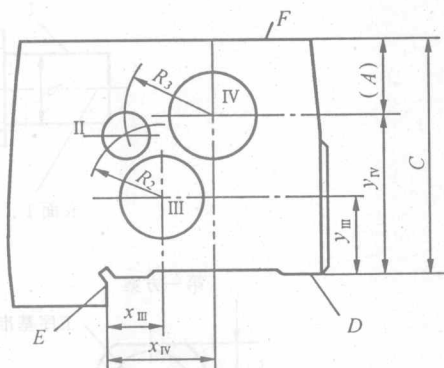


图 1-7 主轴箱箱体的设计基准

1.2 机械加工工艺规程

1.2.1 机械加工工艺规程及其作用

1. 机械加工工艺规程的概念

规定产品或零部件制造工艺过程 and 操作方法等的工艺文件称为工艺规程。其中, 规定零件机械加工工艺过程 and 操作方法等的工艺文件称为机械加工工艺规程。它是在具体生产条件下, 最合理或较合理的工艺过程 and 操作方法, 并按规定的形式写成工艺文件, 经审批后用来指导生产的。

2. 工艺规程的作用

工艺规程是在总结实践经验的基础上, 依据科学的理论和必要的工艺实验后制定的, 反

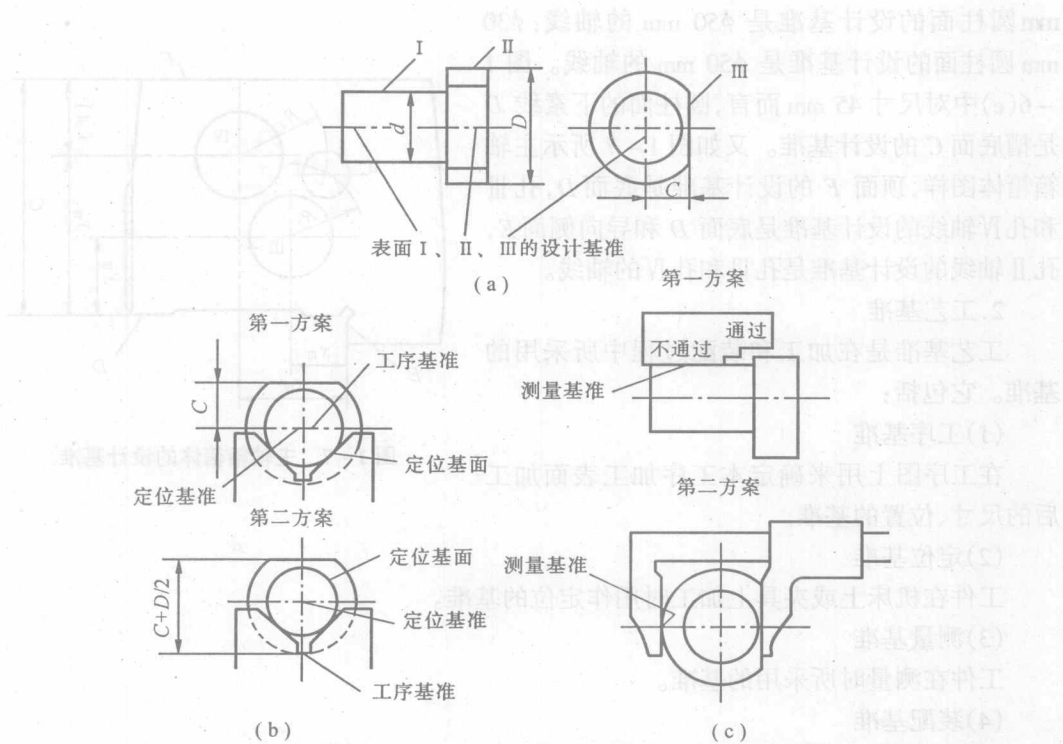


图 1-8 各种标准的实例

映了加工中的客观规律。

(1) 工艺规程是指导生产的主要技术文件

机械加工工艺规程是指导现场生产的根据,一切从事生产的人员都要严格、认真地贯彻执行,用它指导生产可以实现优质、高产和低成本。

(2) 工艺规程是生产组织和管理工作的基本依据

在生产管理中,产品投产前原材料及毛坯的供应,通用工艺装备的准备,机床负荷调整,专用工艺装备设计制造,作业计划编排,劳动力的组织及生产成本核算等都要以工艺规程作为基本依据。

(3) 工艺规程是新、扩建工厂或车间的基本资料

在新建或扩建工厂、车间时,根据工艺规程才能准确确定:所需机床种类和数量,工厂或车间的面积,机床的平面布置,生产工人的工种、等级、数量,以及各辅助部门的安排。

1.2.2 工艺规程的类型与格式

我国机械工业部门规定的工艺规程类型有如下一些内容。

1. 专用工艺规程

针对每一个产品和零件所设计的工艺规程

2. 通用工艺规程

(1) 典型工艺规程

为一组结构相似的零部件所设计的通用工艺规程。

(2)成组工艺规程

按成组技术原理将零件分类成组,针对每一组零件所设计的通用工艺规程。

3.标准工艺规程

它是已纳入标准的工艺规程。本章主要介绍零件的机械加工专用工艺规程的制定。

(1)机械加工工艺规程

按照有关规定,属于机械加工工艺规程的有:

- ①机械加工工艺过程卡片;
- ②机械加工工序卡片;
- ③标准零件或典型零件工艺过程卡片;
- ④单轴自动车床调整卡片;
- ⑤多轴自动车床调整卡片;
- ⑥机械加工工序操作指导卡片;
- ⑦检验卡片等。

(2)装配工艺规程

属于装配工艺规程的有:

- ①工艺过程卡片;
- ②工序卡片。

最常用的机械加工工艺过程卡片和机械加工工序卡片如表 1-4 和表 1-5 所示。

1.2.3 工艺规程的内容、制定步骤和原始资料

1.工艺规程的内容与制定步骤

(1)工艺审查与毛坯选择

(2)工艺过程设计

包括划分工艺过程的组成、选择定位基准、选择表面的加工方法、安排加工顺序和组合工序等。

(3)工序设计

机床和工艺装备选择、确定加工余量、计算工序尺寸及公差、确定切削用量及计算工时定额等。

(4)填写工艺文件

2.工艺规程制定的原始资料

- ①产品的装配图和零件图;
- ②产品验收的质量标准;
- ③产品的生产纲领和生产类型;
- ④现有的生产条件;
- ⑤各有关手册、标准及指导性文件资料。

装订号

装订号

1.3 工艺审查与毛坯选择

1.3.1 零件的工艺性分析

在制定零件的机械加工工艺规程之前,首先应对零件的工艺性进行分析。

1. 审查各项技术要求

分析产品图纸,熟悉该产品的用途、性能及工作状态,明确被加工零件在产品中的位置和作用,进而了解图纸上各项技术要求制定的依据,以便在拟定工艺规程时采取适当的工艺措施加以保证。

审查图纸的完整性、技术要求的合理性以及材料选择是否合理,并提出改进意见。

如图 1-9(a)所示的汽车板簧和弹簧吊耳内侧面的表面粗糙度,可由原设计的 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ 改为 $R_a 25 \mu\text{m}$,这样就可 在铣削加工时增大进给量,以提高生产率。又如 图 1-9(b)所示的方头销零件,其方头部分要求淬硬到 HRC55~60,其销轴 $\phi 8^{+0.01}_{-0.001} \text{ mm}$ 上有个 $\phi 2^{+0.01}_0 \text{ mm}$ 的小孔,在装配时配做,材料为 T8A,小孔 $\phi 2^{+0.01}_0 \text{ mm}$ 因是配做,不能预先加工好,淬火时,因零件太小势必全部被淬硬,造成 $\phi 2^{+0.01}_0 \text{ mm}$ 孔很难加工。若将材料改为 20Cr,可局部渗碳,在小孔处镀铜保护,则零件加工就容易得多。

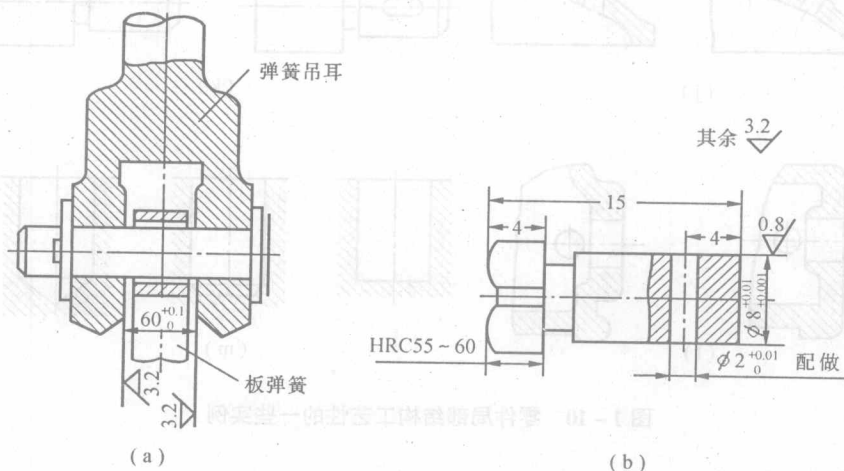


图 1-9 零件加工要求和零件材料选择不当的示例

2. 审查零件结构工艺性

零件的结构工艺性,是指零件在能满足使用要求的前提下,制造的可行性和经济性。所谓良好的工艺性,是指在保证产品使用要求前提下,能用生产率高、劳动量少、材料省和生产成本低的方法制造出来。图 1-10 是零件局部结构工艺性的一些实例,每个实例右边为合理的正确结构。

3. 结构设计时应注意的几项原则

① 尽可能采用标准化参数,有利于采用标准刀具和量具;

②要保证加工的可能性和方便性,加工面应有利于刀具的进入和退出;

③加工表面形状应尽量简单,便于加工,并尽可能布置在同一表面或同一轴线上,以减少工件装夹、刀具调整及走刀次数;

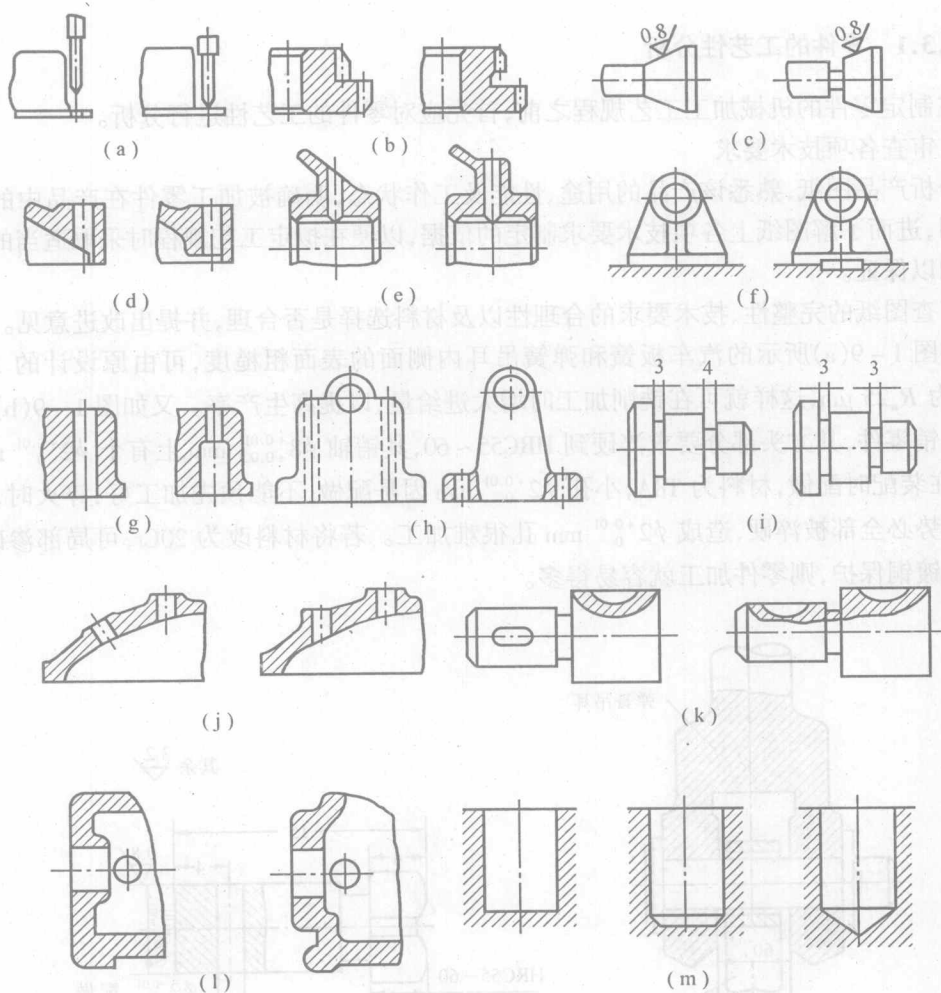


图 1-10 零件局部结构工艺性的一些实例

④零件结构应便于工件装夹,并有利于增强工件或刀具的刚度;

⑤应尽可能减轻零件质量,减少加工表面面积,并尽量减少内表面加工;

⑥零件的结构应与先进的加工工艺方法相适应。

1.3.2 毛坯选择

在制定零件机械加工工艺规程前,还要选择毛坯类型及制造方法、确定毛坯精度。零件机械加工的工序数量、材料消耗和劳动量,在很大程度上与毛坯有关,所以正确选择毛坯具有重大的技术经济意义。

1. 常用的毛坯种类

(1)铸件

主要有砂型铸造、金属型铸造、离心铸造、压力铸造和精密铸造等;

(2)锻件

主要有自由锻、模锻以及精密锻造等;

(3)焊接件

主要有气焊、电弧焊以及电渣焊等;

(4)型材

主要有圆钢、方钢、角钢等。

2. 毛坯选择时考虑的因素

(1)零件材料及其力学性能

例如,材料是铸铁,就选铸造毛坯;材料是钢材,且力学性能要求高时,可选锻件;当力学性能低时,可选型材或铸钢。

(2)零件的形状和尺寸

形状复杂毛坯,常采用铸造方法。薄壁件不可用砂型铸造,大铸件应用砂型铸造。常见钢质阶梯轴零件,如各台阶直径相差不大,可用棒料;如各台阶直径相差较大,可选锻件。尺寸大宜选自由锻,尺寸小宜选模锻。

(3)生产类型

大量生产,应选精度和生产率都比较高的毛坯制造方法,如铸件选金属模机器造型或精密铸造,锻件应采用模锻,冷轧和冷拉型材等;单件小批生产则应采用木模手工造型或自由锻。

(4)具体生产条件

考虑现场毛坯制造的水平和能力以及外协的可能性等。

(5)利用新工艺、新技术和新材料的可能性

如精铸、精锻、冷挤压、粉末冶金和工程塑料等,应用这些方法后,可大大减少机械加工量,有时甚至可不再进行机械加工。

1.4 工艺过程设计

在对零件的工艺性进行分析和毛坯选择之后,即可制定零件的机械加工工艺过程。其内容主要有:选择定位基准、选择零件表面加工方法、加工阶段划分、加工顺序的安排和工序组合等。

1.4.1 定位基准选择

在最初的工序中只能选择未加工的毛坯表面作为定位基准,这种表面称为粗基准。用加工过的表面作为定位基准称为精基准。另外,为满足工艺需要而在工件上专门设置或加工出的定位面,称为辅助基准,如轴加工时用的中心孔、活塞加工时用的止口等。

1. 粗基准的选择

如图 1-11 所示的毛坯,铸造时内孔 2 与外圆 1 有偏心,因此在加工时,如果用不需加工的外圆 1 作粗基准(用三爪自定心卡盘夹持外圆 1)加工内孔 2,则内孔 2 与外圆是同轴