

机械制造工艺学

柯明扬 主编

北京航空航天大学出版社



机械制造工艺学

柯明扬 主编



北京航空航天大学出版社

2465.61
内 容 简 介

本书为高校机械制造专业的专业教材。其内容包括工艺过程设计的原则和方法；工序尺寸的设计和计算以及工艺尺寸图表的应用；影响加工精度的因素、误差的统计分析以及回归分析和工艺试验的正交设计法；表面粗糙度及表面层的物理机械性能；提高质量、生产率和经济性的措施，在有关章节中介绍了有关计算机辅助制造系统，并附有典型零件的制造工艺。在书末附有必要的附录，以及重点章节部分的习题。

本书结合机械行业，特别是航空、航天工业的生产实践，总结了复杂零件工艺过程的设计原则和方法，为计算机辅助工艺过程设计提供了理论基础。

本书可供高等院校作为教学用书，也可供从事机械行业各部门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/柯明扬主编. —北京:北京航空航天大学出版社, 1996. 8

ISBN 7-81012-650-4

I. 机… II. 柯… III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 08092 号

- 书 名: 机械制造工艺学(JIXIE ZHIZAO GONGYIXUE)
- 编 著 者: 柯明扬 主编
- 责任编辑: 刘宝俊
- 责任校对: 张韵秋
- 出 版 者: 北京航空航天大学出版社
- 地 址: 北京学院路 37 号(100083)62015720(发行科电话)
- 印 刷 者: 通县觅子店印刷厂
- 发 行: 新华书店总店北京发行所
- 经 售: 全国各地新华书店
- 开 本: 787×1092 1/16
- 印 张: 13.5
- 字 数: 345 千字
- 印 数: 4000 册
- 版 次: 1996 年 6 月第一版
- 印 次: 1996 年 6 月第一次印刷
- 书 号: ISBN 7-81012-650-4/TH·023
- 定 价: 13.00 元

前 言

《机械制造工艺学》是根据高等院校机械制造专业的要求而编写的,是一门主要专业课程。机械加工的工艺知识,是机械行业,特别是航空和航天工业部门的设计、制造和管理人员所必备的知识。

为熟悉和解决加工工艺问题的方法,掌握加工工艺方面的基本理论和基本知识,了解机械加工方面的发展,本教材叙述了机械加工工艺过程的主要问题。

1. 设计工艺路线的原则和方法;
2. 工序的详细设计,重点叙述了尺寸换算以及工序尺寸的设计与计算,尺寸图表法在设计工艺过程时的应用;
3. 影响加工精度的因素分析,以及质量分析和质量控制的方法,工艺试验的正交设计法等;
4. 影响表面质量的因素分析,以及改善表面质量的措施;
5. 提高质量、生产率和经济性的措施,并重点叙述了设计工艺性、计算机应用等近代的技术与方法。

本课程的特点是既有科学性、理论性,又有较强的综合性和实践性,因此,必须联系实际来培养工艺设计、工艺分析、工艺计算和工艺实验方面的独立工作能力。

为适应工程技术应用和科学研究人才的培养,本教材侧重于基本理论和基础知识的应用,并配有典型零件的加工工艺,在书末附有有关的附录,以及重点章节的习题。

学习本课程时,应有一定的机械加工基础知识和生产实践的知识,先修的课程应有:机械制造基础、公差及技术测量、金属材料及热处理、金属切削原理及刀具和金属切削机床等等。

参加本书编写的有王庆文同志(编写第七、八章)。

参加本书编写工作的还有何静彦、马殿英、季平、孙斌和武彤等同志。

本书承北京理工大学胡永生教授审阅并提出了不少宝贵意见,谨致衷心的感谢。

本书大部分内容虽经多次教学实践,并在实践中经过不断修正和补充,但由于水平有限及编写的时间仓促,书中难免有不足和缺点,恳请读者批评指正。

编 者

1995年12月于北京航空航天大学

绪 论

机械工业,特别是航空与航天工业是国民经济中的重要工业部门。其产品包括汽车、轮船、飞机、导弹、人造卫星和航天飞机等。它们直接反映了工业生产的最高技术水平和能力,又集中应用了科学技术的最新成果。所以,其发展水平,常常是一个国家科学技术水平的标志。

机械制造工艺学是一门综合性的技术应用科学,是研究制造过程中各种加工过程的规律、合理选择过程参数和控制这些参数的方法与手段的科学,即研究制造过程的本质、相互联系和发展规律的科学。

机械制造过程大致可分为毛坯制造、零件的机械加工、装配和试验四个阶段。机械制造工艺是研究零件机械加工工艺过程的科学,是制造工艺的重要组成部分。其特点是由产品本身及其生产的特点以及技术发展的要求所决定的。

现代机械产品的特点,主要表现在下列几个方面:

1. 零件和整机的制造质量要求非常高,技术要求和特种技术条件等要求严格;
2. 零件的构形比较复杂,而且壁较薄,刚度较低;
3. 使用的材料品种多,质量要求高,其中包括很难加工的钛合金、耐热钢和耐热合金等;
4. 采用各种高效率的先进工艺方法和手段,如高能粒子加工与超精加工等,工艺过程细致而严密;
5. 要求有高度的专业化和广泛的协作关系。

随着科学技术的发展,特别是计算方法和计算机的迅速发展,大大地推动了机械加工工艺的进步。

数控加工(NC)、计算机数字控制(CNC)、直接数字控制(DNC)以及自适应控制(AC)等系统的推广和应用,更促进了机械工业的发展。近年来发展起来的柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS),使多品种、中小批生产实现了加工自动化,大大地促进了自动化的进程。

目前,计算机辅助工艺过程设计(CAPP)的发展,以及计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)的结合,为进一步发展计算机综合制造系统(CIMS)创造了条件,并进一步向生产全盘自动化,即无人化制造系统(UMS)的方向发展。

现代机械产品的制造是一个极其复杂的过程,它所涉及的面很广。由于问题的综合性和实践性,因此,一方面必须深入总结和利用现有的丰富实践经验,另一方面更需要进行大量的科学实验和研究,并结合运用有关部门的最新科学成就,以解决制造过程中的各种问题,并优化整个生产系统,进一步推动制造科学的发展和现代化。

目 录

绪 论	
第一章 工艺过程概述	
§ 1-1 工艺过程的组成	(1)
§ 1-2 设计工艺过程的基本要求	(3)
§ 1-3 设计工艺过程的技术依据	(4)
§ 1-4 机械加工精度	(6)
§ 1-5 基准与定位	(8)
§ 1-6 尺寸链及计算方法	(10)
第二章 工艺路线设计	
§ 2-1 零件图的工艺分析	(15)
§ 2-2 加工方法的选择	(18)
§ 2-3 阶段的划分	(21)
§ 2-4 工序的集中与分散	(22)
§ 2-5 基准选择	(23)
§ 2-6 热处理工序的安排	(33)
§ 2-7 辅助工序的安排	(35)
§ 2-8 轴套工艺路线分析	(36)
第三章 机床工序设计	
§ 3-1 设备和工艺装备的选择	(39)
§ 3-2 加工余量的确定	(40)
§ 3-3 工序尺寸的确定	(44)
§ 3-4 工艺尺寸换算	(46)
§ 3-5 尺寸图表	(52)
第四章 机械加工精度	
§ 4-1 概 述	(61)
§ 4-2 加工误差产生的原因	(61)
§ 4-3 加工误差的统计分析	(77)
§ 4-4 工艺试验的正交设计	(90)
第五章 机械加工表面质量	
§ 5-1 表面质量概述	(98)
§ 5-2 表面质量对使用性能的影响	(99)
§ 5-3 表面粗糙度及影响因素	(102)

§ 5-4	表面层的物理机械性能及影响因素	(105)
§ 5-5	工艺系统的振动及控制方法	(112)
第六章	提高质量、生产率和经济性的措施	
§ 6-1	设计工艺性	(121)
§ 6-2	提高加工质量的途径	(128)
§ 6-3	提高劳动生产率的途径	(130)
§ 6-4	计算机技术的应用	(133)
§ 6-5	技术经济分析	(140)
§ 6-6	质量管理	(142)
第七章	轴类零件加工	
§ 7-1	构造、技术条件与材料	(144)
§ 7-2	轴类零件加工工艺过程设计	(147)
§ 7-3	主要加工工序的进行方法	(154)
§ 7-4	轴的检验	(158)
第八章	盘类零件的加工	
§ 8-1	构造、技术条件与材料	(161)
§ 8-2	盘类零件加工工艺过程设计	(164)
§ 8-3	主要工序的进行方法	(173)
§ 8-4	盘的检验	(174)
第九章	梁类零件加工	
§ 9-1	构造、技术条件与材料	(179)
§ 9-2	梁的工艺路线的制订	(180)
§ 9-3	梁的主要工序的进行方法	(182)
§ 9-4	梁的检验	(185)
附 录		
附录一、	工艺文件	(186)
附录二、	加工方法及经济加工精度	(187)
附录三、	表面粗糙度	(189)
附录四、	余量简表	(190)
习 题	(193)
参考文献	(206)

第一章 工艺过程概述

§ 1-1 工艺过程的组成

一、生产过程和工艺过程

工厂的生产过程是将原材料或半成品转变为成品所进行的全部过程。

工厂的生产过程可以分为几个主要阶段。在机械制造厂(例如航空和航天器发动机制造工厂)中,这些阶段是:

1. 毛坯制造(在锻压和铸造等车间进行);
2. 零件加工(在机械加工、冲压、焊接、热处理和表面处理等车间进行);
3. 零件装配(在装配车间进行);
4. 发动机试验(在发动机试车台上进行)。

工厂的生产过程,是一个十分复杂的过程,它不仅包括那些直接作用到生产对象上去的工作,而且也包括许多生产准备工作(如生产计划的制订、工艺规程的编制与生产工具的准备等等)和生产辅助工作(如设备的维修、工具的刃磨、原材料和半成品的供应、保管与运输以及生产中的统计与核算等)。

然而,在工厂的生产过程中,占重要地位的是工艺过程。工艺过程是与改变原材料或半成品使之成为成品直接有关的过程。工艺过程有锻压、铸造、机械加工、冲压、焊接、热处理、表面处理、装配和试车等。

机械加工工艺过程,是指用机械加工方法逐步改变毛坯的状态(形状、尺寸和表面质量),使之成为合格的零件所进行的全部过程。在机械产品的制造过程中,机械加工在总劳动量中占的比重最大(约为60%),而且它是获得复杂构形和高精度零件的主要手段。近年来,由于科学技术的飞速发展,对产品的精度要求也就愈来愈高。因此,机械加工工艺过程在产品生产的整个工艺过程中,占有最重要的地位。

先进工艺过程的采用,与发展机械工业的技术水平有非常重大的关系。工艺过程的设计,在生产准备工作中起着决定性的作用。按照规定的工艺过程组织生产,对保证产品的质量和经济性,并对提高生产率都有十分重要的意义。同时,生产中的各种生产准备工作和生产辅助工作,也都以规定的工艺过程为依据。而且,只有执行规定的工艺过程,才能够建立起正常的生产秩序。因此,设计正确合理的工艺过程,是一项十分重要的工作。

二、工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列工序组成的,毛坯依次通过这些工序而变为成品。

工序是工艺过程的基本组成部分。

工序是指在一个工作地点上,对一个工件(或一组工件)进行加工所进行的连续工作。

工序的内容可繁可简,如图 1-1(a)所示的零件,孔 1 需要进行钻和铰,如果一批工件中,每个工件都是在—台机床上依次地先钻孔,而后接着铰孔,这就构成一个工序。如果将全批工件都先进行钻孔,然后再将全批钻过孔的工件进行铰孔,这样就成为两个工序了。

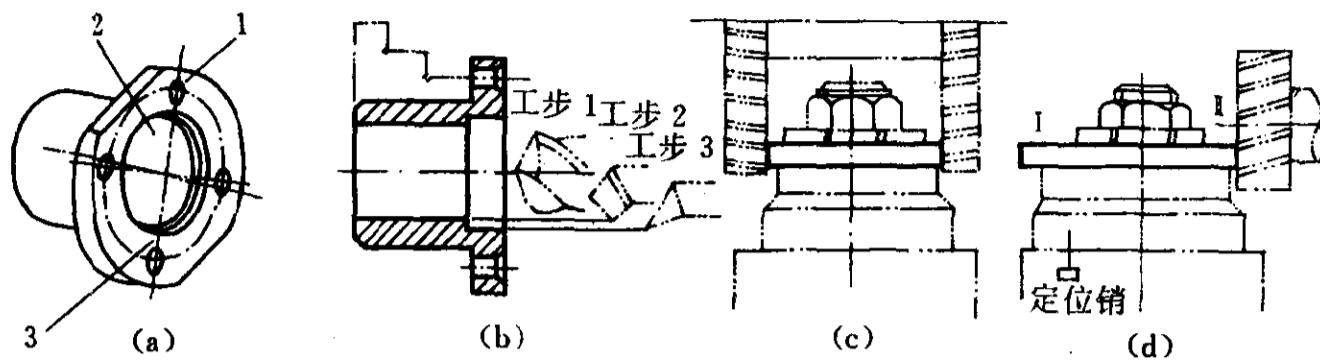


图 1-1 工艺过程的组成

在组织计划工作中,工序是工艺过程的基本单元。

工序又可划分为不同的工步。

工步是指在被加工表面、切削工具和机床的工作用量(转速和进给量)均保持不变的条件下所进行的工作。

如图 1-1(b)所示的加工中间大孔的工序,这一工序包括三个工步:(1) 钻孔 2; (2) 镗孔 2; (3) 镗环槽 3。

为了提高生产率,常常将几个工步合并成为一个复合工步。这种复合工步的特点是用几个工具同时加工几个表面,如图 1-1(c)所示为用两把铣刀同时加工两个平面的情况。在多刀、多轴机床上进行零件加工时,主要是利用这一特点来提高劳动生产率。

一个工步又可分为几次走刀进行。

走刀是指在一个工步中,切削工具从被加工表面上每切去一层金属所进行的工作。

当工件表面上需要切去的金属太厚,不可能或不宜一次切下时,就需要分几次走刀来进行加工。

完成一个工序,常需要进行许多工作,这些工作可分为基本工作(切削)和辅助工作(装卸工件、开动机床、引进工具和测量工件等)两部分。在辅助工作中,工件的安装占有很重要的地位。

安装是使工件在机床上占据应有的位置,并夹紧使之固定在这个位置上。

由上述定义可知,安装包括定位和夹紧两个内容。在一个工序中,可以用一次安装或几次安装来进行加工。如图 1-1(c)所示,用一对铣刀同时加工两个侧平面,这是一次安装。若用一把铣刀,先铣一边,然后将工件松开,旋转 180° ,并重新夹紧,再加工另一边,这就成了两次安装。

工件在一个工序中进行多次安装,往往会降低加工质量,而且还要花费很多装夹时间,因此,当工件必须在不同的位置加工时,常利用夹具来改变工件的位置。

工位是工件在一次装夹后,在机床上所占有的各个位置。

图 1-1(d)所示为利用夹具在两个工位上进行铣削平面的情况。工件的 II 端加工后,不必卸下工件,只须拔出定位销,使夹具的上半部分带着工件一起旋转 180° ,再插入定位销,使工件的 I 端占据 II 端原有的位置。亦即使夹具的上半部和底部之间改变角向相对位置,从而使工件由第一工位转到第二工位。

上述这些术语,可通过螺钉的机械加工工艺过程来说明。螺钉的零件图见图 1-2,工艺过程见表 1-1。

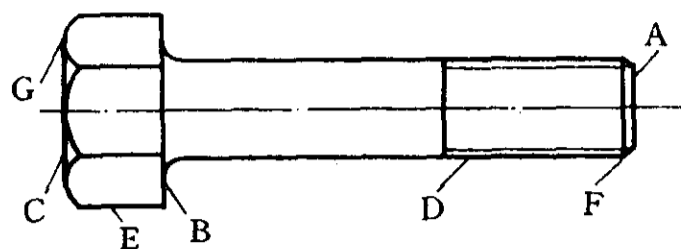


图 1-2 螺 钉

表 1-1 螺钉机械加工工艺过程

工 序	安 装	工 步	走 刀	工 位
I 车	1 (三爪卡盘)	(1) 车端面 A	1	1
		(2) 车外圆 E	1	
		(3) 车螺纹外径 D	3	
		(4) 车端面 B	1	
		(5) 倒角 F	1	
		(6) 车螺纹	6	
		(7) 切断	1	
II 车	1 (三爪卡盘)	(1) 车端面 C (2) 倒棱 G	1 1	1
III 铣	1 (旋转夹具)	(1) 铣六方 (复合工步)	3	3

§ 1-2 设计工艺过程的基本要求

设计零件的机械加工工艺过程,是生产技术准备工作的一个重要组成部分。

一个零件可以采用不同的工艺过程制造出来。但是,正确与合理的工艺过程,应满足下列基本要求:

1. 保证产品的质量符合设计图和技术条件所规定的要求;
2. 保证高的劳动生产率;
3. 保证经济上的合理性。

质量、生产率和经济性,通常就构成了制订工艺过程所必须满足的技术和经济要求。对于航空、航天产品,保证质量是最重要的,而生产率和经济性,对国防工业来说,也具有特殊的意义。

另外,在设计工艺过程时,必须特别重视改善劳动条件。

新技术和新工艺的发展,如毛坯的精化,特种工艺和超精工艺技术的发展,以及数控和计算机技术的应用等等,都对产品的质量和生产周期有很大的影响。因此,随着生产技术的发展,

工艺过程也要不断地改进。

同时,所设计的工艺过程要能够保证产品质量的稳定。即工艺过程要能够可靠地实现图纸和技术条件所规定的要求。也就是说,产品的质量尽可能不依赖于操作者的技艺,而要决定于设备、工艺装备和工艺方法的完善程度。

总之,在设计工艺过程中,要合理地解决技术和经济问题。为了使所设计的工艺过程更为合理,就必须对各种可行的方案进行分析比较。以使工艺过程能全面地符合质量、生产率和经济性的要求。

§ 1-3 设计工艺过程的技术依据

零件机械加工的工艺过程,取决于零件的要求、产量的大小和现场的生产条件。所以,在设计工艺过程时,必须掌握下列资料作为基本的技术依据。

一、零件图及技术条件

零件图及技术条件,是制造的对象,是设计工艺过程的主要技术依据。

在零件图上应包括:

1. 构形 有必要的投影、剖视或剖面等,必须使零件定形。另外,还应有确定构形大小的全部尺寸;
2. 技术要求 有关尺寸、形状和位置关系所允许的偏差;表面粗糙度以及某些特殊的技术要求(如平衡、音频和重量等);
3. 材料 有关材料的牌号、热处理方式及硬度、材料的无损探伤、毛坯种类及检验等级等。

另外,所有不能在图纸上用图形或符号表示的要求或说明,一般可写在图纸上或写在另附的文件上,这些称之为技术条件。

在设计工艺过程中,首先应对零件图进行详细的工艺分析,以便掌握工艺关键并采取必要的工艺措施。

二、生产量

工艺过程必须根据给定的生产量的大小来设计。产品的产量及劳动量的大小,是影响生产类型的主要因素。生产可分为三种基本类型,即单件生产、成批生产和大量生产。

1. 单件生产 这种生产类型的特点是产品的品种多、产量小(一件、几件或几十件),而且是不再重复或不定期重复的生产。

由于这种生产类型的产量小,所以常采用通用的设备及工艺装备。对于形状复杂的表面,一般采用数控加工。按照这种方式组织生产的有工具制造、专用设备制造以及新产品的试制等。

2. 成批生产 这种生产类型的特点是产品分批地进行生产,按一定时期交替地重复。因批量的不同,成批生产可分为大批生产、中批生产和小批生产三种。大批生产的产品品种有限而产量较大,所以常采用接近于大量生产的方式进行。而小批生产则产品的品种繁多而产量不大,其生产方式接近于单件生产。航空与航天工业的零件生产,按其性质来说,一般是属于中、

小批生产的类型。

成批生产一般采用通用设备及部分专用设备,并广泛地采用专用工艺装备。

3. 大量生产 这种生产类型的特点是产品的产量大,大多数设备经常重复进行某一工件的一个工序的加工。常采用专用设备及专用工艺装备。广泛地采用高生产率的专用机床、组合机床、自动机床与自动生产线。例如,航空发动机的叶片车间,一般是按大量生产的类型来组织生产的。

在同一工厂内,甚至在同一车间中,各个工段也可能按不同的生产类型来组织生产。

由于生产类型的不同,对生产组织、生产管理、车间布置、设备、工艺装备、工艺方法以及操作者的技术水平等各方面的要求,也都不同。所以,在设计工艺过程时,必须注意和生产类型相适应。

产量和生产类型的关系及其工艺特点,一般可归纳为表 1-2 所列。

表 1-2 产量、生产类型与工艺特点

生产类型		单件生产	成批生产			大量生产
			小批	中批	大批	
年产量 (件)	重型机械	<5	5~100	100~300		
	中型机械	<20	20~200	200~500	500~5000	>5000
	轻型机械	<100	100~500	500~5000	5000~50000	>50000
工艺特点	毛坯特点	用木模手工造型及自由锻等,毛坯精度低,加工余量大	用金属模造型及模锻等,部分采用先进高效方法,如精铸、辗压与空心锻造等,毛坯精度及加工余量中等			广泛采用机器造型及精铸、精锻、精压与辗压等先进高效方法,毛坯精度高、加工余量小,部分毛坯无余量
	机床设备	采用通用机床,部分采用数控机床及加工中心等	采用通用机床和部分专用机床及组合机床,或者采用柔性制造单元及系统			广泛采用专用机床与自动机床
	设备布置形式	按机群式布置	设备按零件类别分工段排列			按流水线或自动生产线排列
	工艺装备	采用标准附件、通用夹具、通用刀具与通用量具	采用通用夹具,并广泛采用专用夹具,采用专用或通用刀具与量具			广泛采用高生产率的专用夹具、刀具及量具,并采用自动检测
	生产率	生产率较低,采用数控技术可提高生产率	中等			高
	成本	较高	中等			低

在一般情况下,如果生产类型不同,则设计工艺过程的详细程度也有所不同。单件生产时,一般只设计工艺路线;在成批和大量生产时,才详细地设计工艺过程。但由于对航空及航天产

品的可靠性要求极高,因此,在各种情况下均须详细地设计工艺过程。

另外,在设计流水线生产的工艺过程时,必须使完成每一工序所需要的时间,接近于节律或其整倍数,以便使机床得到充分的负荷。

节律是指为加工一个工件时完成一个工序所需的时间,可按下式计算:

$$t = T_1/Q$$

式中 T_1 ——某一段时间;

Q ——在此期间内所加工的工件数。

近年来,由于计算机技术的迅速发展,先进的设备及技术——数控机床、加工中心以及成组技术、柔性制造技术与集成制造系统等的出现和发展,对各种生产类型的工艺特点,以至对批量的概念等,都影响甚大,必将导致它们发生新的变化。

三、生产条件

设计工艺过程,可能是在现有工厂的条件下,或者是在新设计的工厂条件下进行。在后一种情况下,可以根据需要和我国当前可能的条件来选择设备,因而可采用较为先进的技术。而在前一种情况下,主要应从工厂现有的机床设备出发来设计较为合理的工艺过程,使现有的设备能得到充分利用。

为了发挥现有生产设备的潜力,以提高产品的质量和生产率,机床设备的改装具有十分重要的技术和经济意义。

新技术、新工艺的发展,新设备的不断出现,标志着生产工艺水平的不断提高。因此,为了更好地保证质量、提高劳动生产率并降低生产成本,在设计工艺过程时,要充分注意新技术的引用。

§ 1-4 机械加工精度

精度是机械产品制造中的主要质量指标之一。保证零件获得规定的加工精度是设计零件机械加工工艺过程的首要任务。

机械加工精度,是指工件在机械加工后的尺寸、几何形状以及表面间的相对位置等的实际几何参数,与设计图所规定的数值的符合的程度。而它们之间不相符合的程度,则称为加工误差。

一、零件精度的标志

由分析零件的构形可知,任意零件都是由各种表面组合而成的。在大多数情况下,这些表面都是些很简单的表面,如平面和圆柱面等。另外,简单的直纹面和回转面,如锥面、球面、螺旋面和齿形表面等,应用也较多;更复杂的立体型面,如叶片的叶型表面等,则应用较少。

零件的精度,可以从下列两方面来表示:

1. 表面本身精度

(1) 表面本身的尺寸精度,如圆柱面和球面的直径以及锥面的锥角等;

(2) 表面本身的形状精度,如平面度、圆度、圆柱度和面轮廓度等(见国标 GB1183—80 中所规定的形状精度);

(3) 表面粗糙度。

2. 表面间相对位置精度

(1) 表面间的位置尺寸精度,如平面间的距离和孔间距等;

(2) 表面间的位置关系精度,如平行度、垂直度、对称度、位置度和圆跳动等(见国标 GB1183—80 中所规定的位置精度)。

任何一种加工方法都不可能加工出绝对准确的零件,总是要产生一些误差的。因此,在设计工艺过程时,应考虑加工的需要与可能来规定适当的加工精度。

二、零件规定精度的获得方法

零件在加工时,获得规定精度的方法,主要有试削法和自动获得法。

1. 试削法

试削法是经过多次试切走刀而获得规定精度的。在每次试切走刀后,进行测量、然后校正切削工具对工件的位置,直到获得所要求的精度为止。图 1-3(a)所示即为在车床上采用试削法加工外圆时的情况。

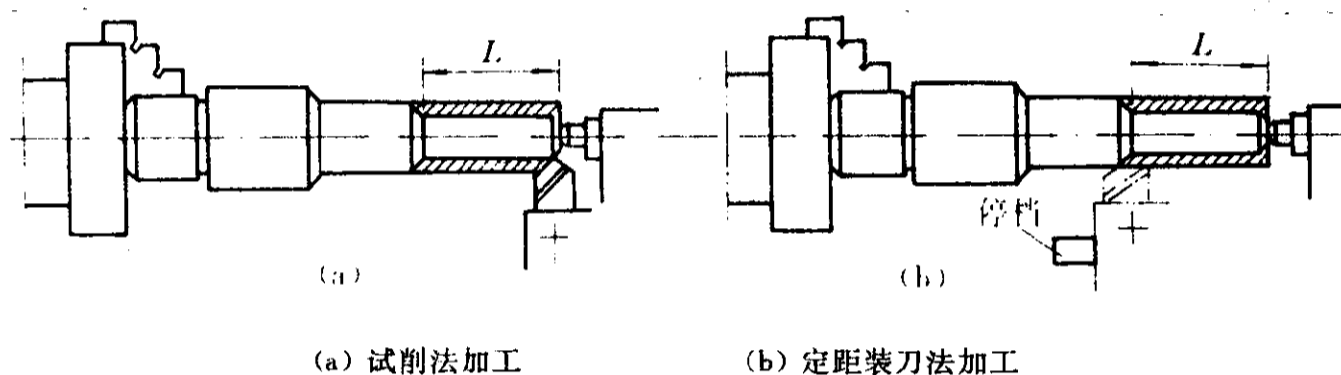


图 1-3 获得规定精度的方法

采用试削法加工,往往需要进行多次试切与测量,生产率较低,一般只适用于单件或小批生产。

2. 自动获得法

(1) 用定尺寸切削工具加工

这种方法是采用有一定尺寸和形状的切削工具进行加工,以便获得所规定的精度。如用铰刀、拉刀加工孔,用丝锥加工螺纹孔,以及用成型切削工具加工型面等。

(2) 用定距装刀法加工

用定距装刀法获得规定的精度,是指利用行程控制装置(如挡块和凸轮)等将切削工具调整好,以取得切削工具对加工表面的正确位置,然后加工一批工件,获得所规定的精度。这种方法广泛应用于多刀机床、转塔车床和龙门铣床等半自动和自动机床上。某些通用机床也可进行定距加工,如图 1-3(b)所示即为在车床上采用定距装刀法加工的情况。

这种方法所能得到的加工精度,不仅取决于设备(包括夹具与刀具等)的调整精度,而且还和加工过程中的稳定性有关。

(3) 由设备本身保证

由设备本身保证获得规定的精度,是指工件在加工后,被加工表面所要求的精度,取决于设备的精度。如在车床上加工端面和外圆,其垂直度就取决于机床的精度。用数控机床和加工中心等加工工件,也是由设备本身保证工件加工精度的。

自动获得精度的方法,是成批生产和大量生产中采用的主要方法,也是机械加工过程自动化的必要条件。另外,关于基准与尺寸等问题的研究,都是在自动获得精度的前提下进行的。

§ 1-5 基准与定位

在设计工艺过程时,不但要考虑获得表面本身的精度,而且还必须保证表面间位置精度的要求。这就需要考虑工件在加工过程中的定位和测量等基准问题。

基准,是指零件上(或工件上)的某些点、线或面,据此以确定其他点、线或面的位置。

1. 设计基准

设计基准是指零件图上的一个点、线或面,据此以标定其他点、线或面的位置。

在零件图上,按零件在产品中的工作要求,用一定的位置尺寸或位置关系来确定各表面间的相对位置。图 1-4 所示是三个零件图的部分要求。对平面 A 来说,平面 B 是它的设计基准。对平面 B 来说,A 是它的设计基准。它们是互为设计基准的(图 1-4(a))。D 是平面 C 的设计基准(图 1-4(b))。在图 1-4(c)上,虽然 G 和 H 面之间没有标注一定的尺寸,但有一定的位置关系精度的要求,因此,H 是 G 面的设计基准。

对于整个零件来说,有很多个位置尺寸和位置关系精度的要求。但是,在各个方向上,往往有一个主要的设计基准。如图 1-4(c)所示的零件,F 就是轴向主设计基准。

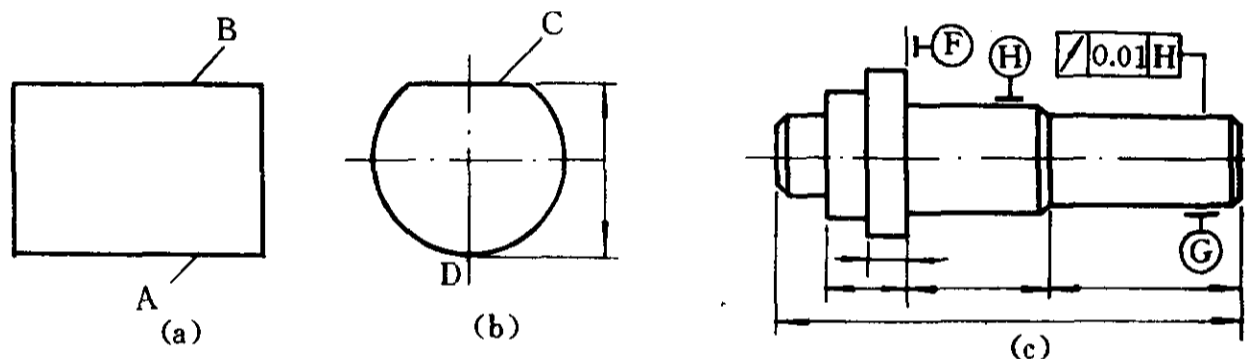


图 1-4 设计基准

在设计工艺过程时,要考虑如何获得表面间的位置精度问题,因此,需要根据设计基准来分析如何选取工艺基准问题。最常用的工艺基准有原始基准、定位基准和测量基准。

2. 原始基准

原始基准是在工序单上(或其它工艺文件上),据此以标定被加工表面位置的点、线或面。标定被加工表面的位置尺寸,称为原始尺寸。

图 1-5 所示为钻孔工序的简图。这两种方案对被加工孔的原始基准选择不同,原始尺寸也因之而异。

3. 定位基准

定位基准是工件上的一个面,当工件在夹具上(或直接在设备上)定位时,它使工件在原始尺寸方向上获得确定的位置。

图 1-6 所示为加工某工件的两个工序简图。由于原始尺寸方向的不同,定位基准的表面也就不同。

在图 1-6(a)中,原始尺寸为 H_1 ,工件以底面定位。在图 1-6(b)中,原始尺寸为 H_2 和 H_3 ,所以工件要以底平面及圆柱面定位。

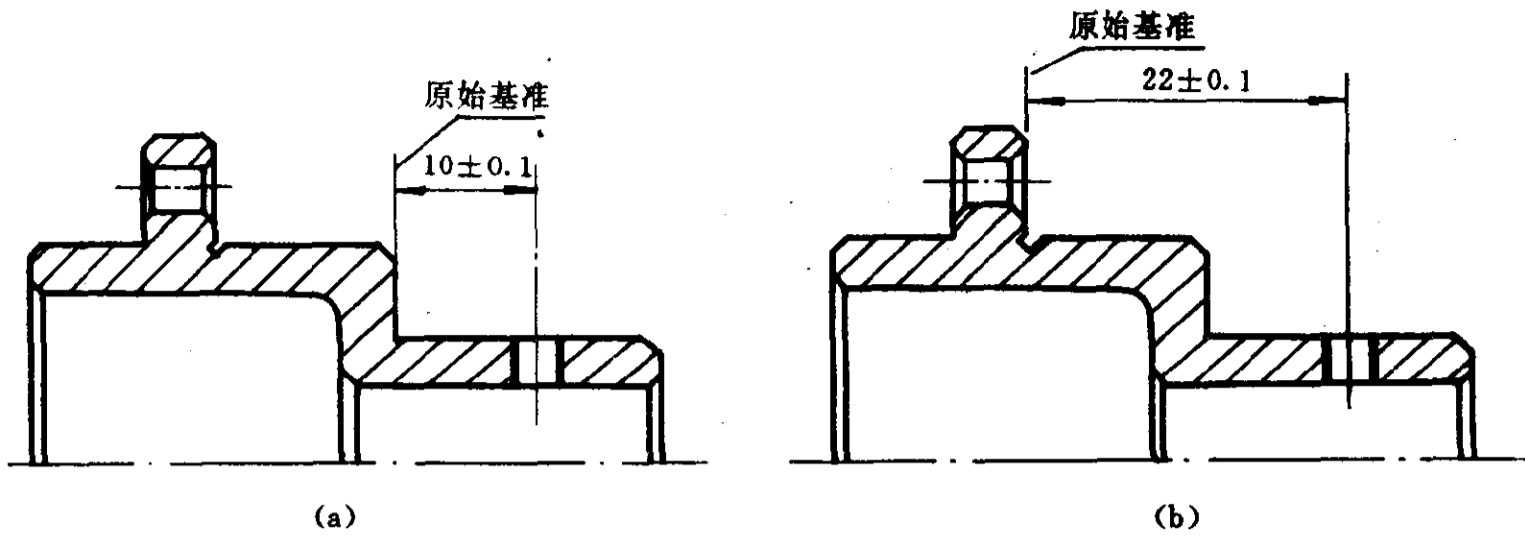


图 1-5 原始基准及原始尺寸

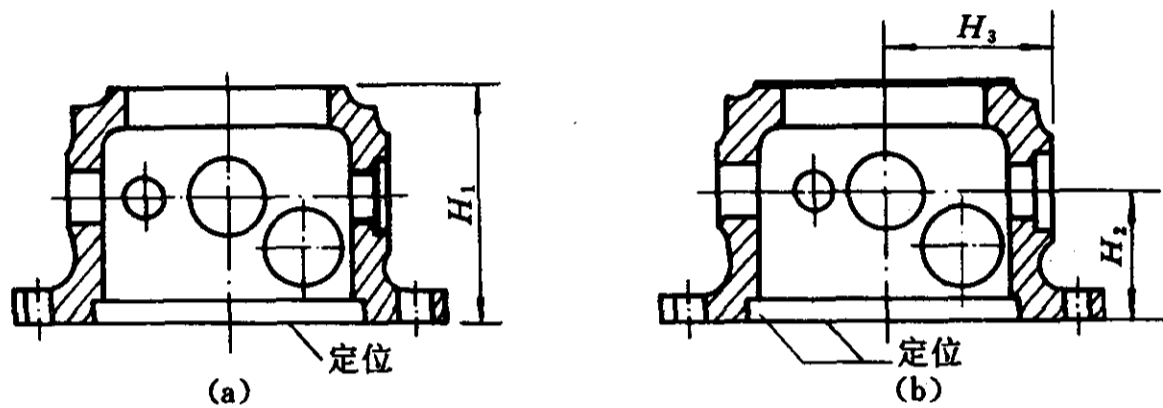


图 1-6 定位基准

与夹具(或设备)接触而不起定位作用的表面,称为支靠表面。

4. 测量基准

测量基准是工件上的一个表面、表面的母线或表面上的一个点,据此以测量被加工表面的位置。

图 1-7 的所示为检测被加工平面时所用的两种方案。原始基准不同,选择的测量基准也不相同。

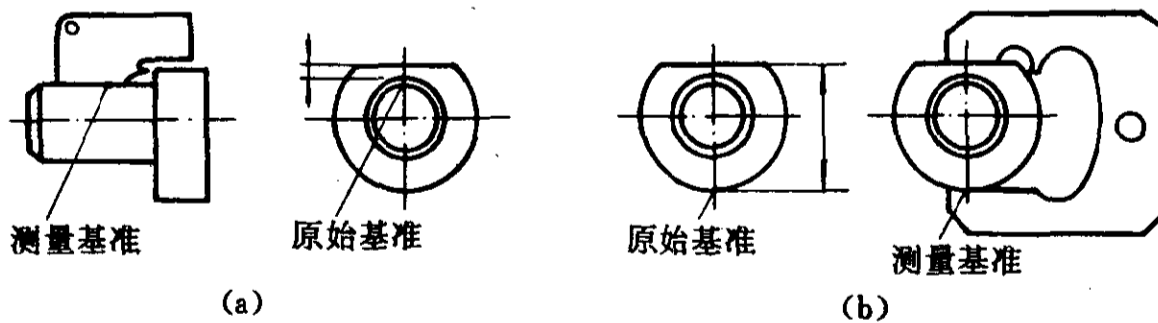


图 1-7 测量基准

工件在机床上定位,一般有两种方法:校正定位法和非校正定位法。

(1) 校正定位法

用这种方法定位时,工件在机床上是靠找正的方法来获得所要求的位置的。这种方法的生产率较低,所以一般只是在单件或小批生产中使用。但对于一些大型复杂的工件,如发动机机匣等零件,由于毛坯制造比较困难,制造精度不高,所以也常采用划线找正的办法。另外,校正

定位法还用于工件的定位精度要求特别高的情况(0.01~0.005mm左右),因为使用夹具有时很难保证较高的定位精度。

(2) 非校正定位法

使用这种方法时,只要使工件上的定位基准和夹具(或设备)上的定位表面相接触,就能使工件获得所要求的位置。由于这种方法的生产率较高,因此,在成批及大量生产时,主要采用这种方法。必须指出,采用这种方法定位时,要求工件的定位基准,必须有一定的精度。

§ 1-6 尺寸链及计算方法

在设计和制造过程中,需要确定表面间的位置,因而常遇到尺寸和精度的计算问题,所以预先要掌握尺寸链及其计算方法。

一、尺寸链

用来确定某些表面间相互位置的一组尺寸,按照一定的次序排列成为封闭的链环,称为尺寸链。

在零件图或工艺文件上,为了确定某些表面间的相互位置,可以列出一些尺寸链。在设计图上的称为设计尺寸链;在工艺文件上的称为工艺尺寸链。

图 1-8(a)所示为某一零件的轴向尺寸图,底的厚度 F_1 由设计尺寸 A_1, A_2 , 和 A_3 所确定。尺寸 A_1, A_2 和 A_3 , 再加上 F_1 就组成一个设计尺寸链。

图 1-8(b)所示为该零件的两个工序图,凸缘厚度 A_3 由 H_1 及 H_3 所确定,尺寸 H_1, H_3 和 A_3 组成一个工艺尺寸链。 H_1, H_2 则与 F_1 组成另一个工艺尺寸链。

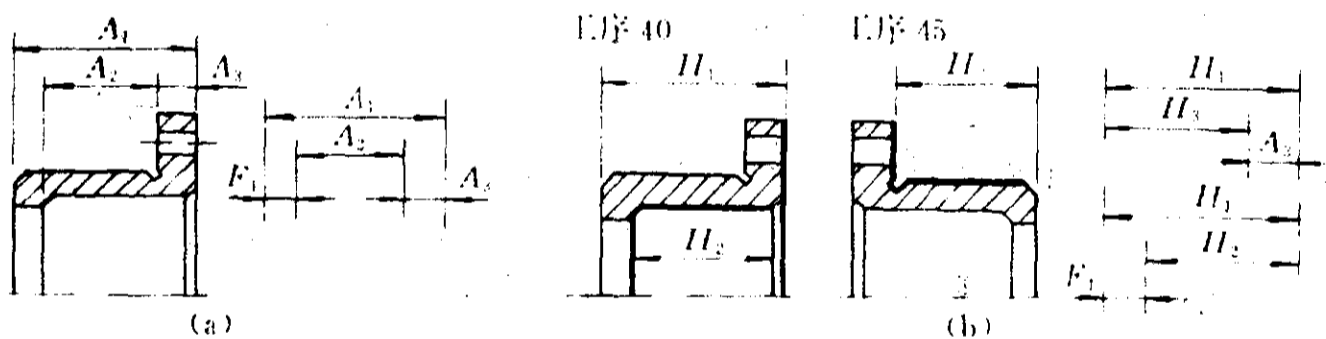


图 1-8 设计尺寸链和工艺尺寸链

尺寸链中的每一个尺寸称为尺寸链的环。尺寸链的环按其性质可分为两类:组成环和封闭环。

组成环:

直接形成的尺寸称组成环。如设计图图 1-8(a)上直接给定的尺寸 A_1, A_2 和 A_3 等;又如在工序图图 1-8(b)上直接加工获得的尺寸 H_1, H_2 和 H_3 等。

封闭环:

由其它尺寸间接形成的尺寸称为封闭环。如在 A_1, A_2, A_3 和 F_1 所组成的设计尺寸链中, F_1 是由 A_1, A_2 和 A_3 所确定的,所以 F_1 是间接形成的,是这个设计尺寸链的封闭环。在工艺尺寸链中, A_3 是由 H_1 和 H_3 所确定的,所以 A_3 是该工艺尺寸链的封闭环。同理,在 H_1, H_2 和 F_1 的工艺尺寸链中, F_1 是封闭环。

增环和减环:

组成环按其对封闭环的影响又可分为增环和减环。当组成环增大时,若封闭环也增大,则该组成环称为增环。而当组成环增大时反而使封闭环减小,则该环称为减环。如在 H_1, H_3 和 A_3 三个尺寸组成的工艺尺寸链中, H_1 增大会使 A_3 也增大,所以 H_1 是增环,而 H_3 增大时反而使 A_3 减小,所以 H_3 是减环。

在一个尺寸链中,只有一个封闭环。由于尺寸在图纸上一般均不应标注成封闭的,所以封闭环一般都不标注。如在设计尺寸链中, F_1 不在图纸上标注。同理, A_3 也不在工艺图纸上标注。

在一个尺寸链中,可以有两个或两个以上的组成环,可以没有减环,但不能没有增环。

封闭环、组成环(增环或减环)是指在一个尺寸链中来说的。某一尺寸在一个尺寸链中是组成环,而在另一个尺寸链中,有可能是封闭环。如尺寸 A_3 ,它在设计尺寸链中,对 F_1 来讲是组成环(减环),而在 H_1, H_3 和 A_3 组成的工艺尺寸链中,它是封闭环。

二、尺寸链的计算

由于某些机械行业,特别是航空、航天工业的特点,对产品的可靠性要求特别高,而且生产类型一般属于中、小批生产,所以常用极值法来解尺寸链,亦即按最不利的情况进行计算。

1. 尺寸链的计算方程

根据尺寸链的封闭性,封闭环的基本尺寸应等于各组成环基本尺寸的代数和,即

$$F = \sum_{i=1}^m \tilde{H}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} \tilde{H}_j \quad (1-1)$$

式中 F ——封闭环的基本尺寸;

\tilde{H}_i ——增环的基本尺寸;

\tilde{H}_j ——减环的基本尺寸;

m ——增环的环数;

n ——尺寸链的总环数。

由式(1-1)知,当增环都是最大尺寸、减环都是最小尺寸时,封闭环的尺寸也应是最大尺寸,即

$$F_{\max} = \sum_{i=1}^m \tilde{H}_{i, \max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \tilde{H}_{j, \min}$$

在相反的情况下,封闭环的尺寸应是最小尺寸,即

$$F_{\min} = \sum_{i=1}^m \tilde{H}_{i, \min} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \tilde{H}_{j, \max}$$

由封闭环的最大极限尺寸,减去其基本尺寸就是封闭环的上偏差,即

$$\Delta f_s = \sum_{i=1}^m \Delta \tilde{h}_{is} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \tilde{h}_{js} \quad (1-2)$$

同理,由封闭环的最小极限尺寸,减去其基本尺寸就是封闭环的下偏差,即

$$\Delta f_x = \sum_{i=1}^m \Delta \tilde{h}_{ix} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \tilde{h}_{jx} \quad (1-3)$$

式中 $\Delta f_s, \Delta f_x$ ——封闭环的上、下偏差;

$\Delta\vec{h}_{is}, \Delta\vec{h}_{ix}$ ——增环的上、下偏差；

$\Delta\vec{h}_{js}, \Delta\vec{h}_{jx}$ ——减环的上、下偏差。

式(1-1)、式(1-2)和式(1-3)称为尺寸链计算方程。这三式表示的意义是：

封闭环的基本尺寸等于各增环的基本尺寸之和减去各减环的基本尺寸之和；

封闭环的上偏差等于各增环的上偏差之和减去各减环的下偏差之和；

封闭环的下偏差等于各增环的下偏差之和减去各减环的上偏差之和。

由封闭环的极限尺寸(或上、下偏差)即可求出封闭环的公差：

$$\begin{aligned}\Delta f &= F_{\max} - F_{\min} \\ &= \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i \max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \vec{H}_{j \min} - \left(\sum_{i=1}^m \vec{H}_{i \min} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \vec{H}_{j \max} \right) \\ &= \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i \max} - \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i \min} + \sum_{j=m+1}^{n-1} \vec{H}_{j \max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \vec{H}_{j \min} \\ &= \sum_{i=1}^m \Delta\vec{h}_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta\vec{h}_j \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} \Delta h_k\end{aligned}$$

式中 Δf ——封闭环的尺寸公差；

$\Delta\vec{h}_i$ ——增环的尺寸公差；

$\Delta\vec{h}_j$ ——减环的尺寸公差；

Δh_k ——组成环的尺寸公差。

上式表明，封闭环的尺寸公差，等于各组成环的尺寸公差之和；所以，当封闭环的公差 Δf 为一定的条件下，减少组成环的数目，就可相应地放大各组成环的公差。这对尺寸链的设计与计算，都有很大的意义。

用尺寸链计算方程求解尺寸链时，通常会遇到两种情况的计算：

(1) 已知全部组成环的极限尺寸，求封闭环的极限尺寸；

(2) 已知封闭环的极限尺寸，求各组成环的极限尺寸。

第一种情况的计算，一般用于验算及校核原设计的正确性。一个封闭环，包括基本尺寸和上、下偏差共三个未知数，由三个尺寸链计算方程进行计算，其结果是唯一确定的。

第二种情况的计算，一般用于产品或制造过程的设计计算。由于需要确定的组成环的未知数，一般均多于计算方程的个数，所以，常采用公差分配法来设计。

公差分配，可以有三种方法：

(1) 等公差值分配，即将封闭环的公差均匀地分配给各环节：

$$\Delta h_i = \Delta h_j = \Delta f / (n - 1) \quad (1-4)$$

这种方法的计算比较简便，但当各环的基本尺寸相差很大，或由于各环的要求不同时，这种方法就不宜使用。

(2) 等公差级分配，即各组成环按相同的公差等级，根据其基本尺寸的大小(主段落)进行分配，并使各组成环的公差符合

$$\Delta f \geq \sum_{i=1}^m \Delta \bar{h}_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \bar{h}_j \quad (1-5)$$

在计算具体公差值时,其公差单位及公差等级系数,可参阅 GB1800-79 的附录。

(3) 组成环先按尺寸的主、次分成两类,然后再按等公差级进行公差分配,并使组成环的公差符合式(1-5)的要求。

由于某些机械行业,特别是航空、航天产品的技术要求比较高,因此,封闭环的公差一般都比较小,加以结构及制造都比较复杂,因而尺寸链的组成环数目也较多。所以,常采用第三种方法来进行公差的合理分配。

在计算过程中,若出现公差为负值(或零值),即该组成环不可能有公差,这在设计和制造过程中是不允许的,造成这种情况的原因是其余组成环的公差,已等于或大于封闭环的公差。在这种情况下,必须重新确定组成环的公差,使满足式(1-5)的要求,或重新设计,以减少组成环的数目。

另外,在计算尺寸链时,也可以采用平均尺寸和对称偏差的方法来进行计算。

组成环的平均尺寸为

$$H_{kM} = (H_{k \max} + H_{k \min})/2$$

封闭环的平均尺寸为

$$F_M = \sum_{i=1}^m \bar{H}_{iM} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \bar{H}_{jM} \quad (1-6)$$

式中 $H_{kM}, H_{k \max}$ 和 $H_{k \min}$ ——第 k 个组成环的平均尺寸、最大极限尺寸和最小极限尺寸;

F_M ——封闭环的平均尺寸;

\bar{H}_{iM} ——增环的平均尺寸;

\bar{H}_{jM} ——减环的平均尺寸。

偏差采用对称形式。封闭环的偏差等于各组成环公差之和,即

$$\begin{aligned} \pm \frac{1}{2} \Delta f &= \pm \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \Delta \bar{h}_{iM} + \left(\pm \frac{1}{2} \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \bar{h}_{jM} \right) \\ &= \pm \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n-1} \Delta h_{kM} \end{aligned} \quad (1-7)$$

利用式(1-6)和式(1-7)即可进行尺寸链的计算。

这种计算方法可以不必区分增减环的上、下偏差,但计算前必须将基本尺寸转换为平均尺寸,并将偏差转换为对称的形式。在尺寸链计算完成后,根据需要,再换算成单向偏差的方式标注。

2. 尺寸链计算示例

〔例 1〕 试计算图 1-9 所示的尺寸链,计算封闭环的基本尺寸、上偏差及下偏差。

在上述尺寸链中:

增环为: $52^{+0.1}$, $33^{+0.15}_{-0.1}$ 和 $28_{-0.1}$;

减环为: 45 ± 0.15 。

根据尺寸链方程,可得:

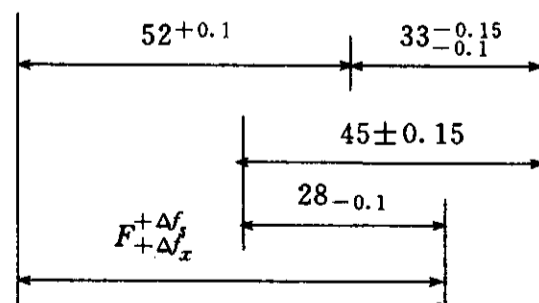


图1-9 尺寸链计算

$$F = (52 + 33 + 28) - 45 = 68$$

$$\Delta f_s = (0.1 + 0.15 + 0) - (-0.15) = 0.4$$

$$\Delta f_x = (0.1 - 0.1 - 0.1) - (+0.15) = -0.35$$

即

$$F_{1+\Delta f_x}^{+\Delta f_s} = 68_{-0.35}^{+0.4} \text{。}$$

[例 2] 在图 1-8(a)中, 尺寸 A_1, A_2 和 A_3 分别为: $32_{-0.16}$, $24^{+0.13}$ 和 5 ± 0.15 , 试计算封闭环 F_1 的基本尺寸及上、下偏差。

在尺寸链中:

$$\text{增环为: } A_1 = 32_{-0.16};$$

$$\text{减环为: } A_2 = 24^{+0.13} \text{ 和 } A_3 = 5 \pm 0.15。$$

根据尺寸链方程, 可得:

$$F_1 = A_1 - (A_2 + A_3) = 32 - (24 + 5) = 3$$

$$\Delta f_s = 0 - (0 - 0.15) = +0.15$$

$$\Delta f_x = -0.16 - (0.13 + 0.15) = -0.44$$

即

$$F_{1+\Delta f_x}^{+\Delta f_s} = 3_{-0.44}^{+0.15} \text{。}$$

第二章 工艺路线设计

设计工艺过程时,首先要设计工艺路线,然后再详细地进行工序设计。这是两个互有联系的过程,应进行反复和综合的分析。

设计工艺路线,是设计工艺过程的总体布局。其任务是确定工序的内容、数目和顺序,所以要分析影响工序的各种有关因素。

某些机械行业,特别是航空、航天工业的产品要求质量高、重量轻、工作稳定且可靠。因此,在构造上的共性一般表现为:

1. 构形复杂、壁薄且刚性较差;
2. 精度、表面质量及其他技术要求较高;
3. 采用优质但难加工的材料,材料品种多,并普遍需要进行热处理和表面处理。

由于零件在构造上有这些要求,结合成批生产的条件,故在工艺上常采用下列工艺措施来保证零件在生产中的质量、生产率和经济性的要求。

1. 合理地选择加工方法,以保证经济地获得精度高、构形复杂的表面;
2. 为适应零件刚性差、精度要求高的特点,将工艺过程划分成几个阶段进行加工,以逐步保证技术要求;
3. 根据集中或分散的原则,合理地将各表面的加工组合成若干工序,以利于保证位置精度并提高生产率;
4. 合理地选择基准,以利于保证位置精度的要求;
5. 正确地安排热处理工序,以保证获得规定的机械性能。同时有利于改善材料的加工性并减小变形对精度的影响。

以上工艺措施,由于具体生产情况的不同,其影响也不完全一样,因此,必须进行具体分析。

§ 2-1 零件图的工艺分析

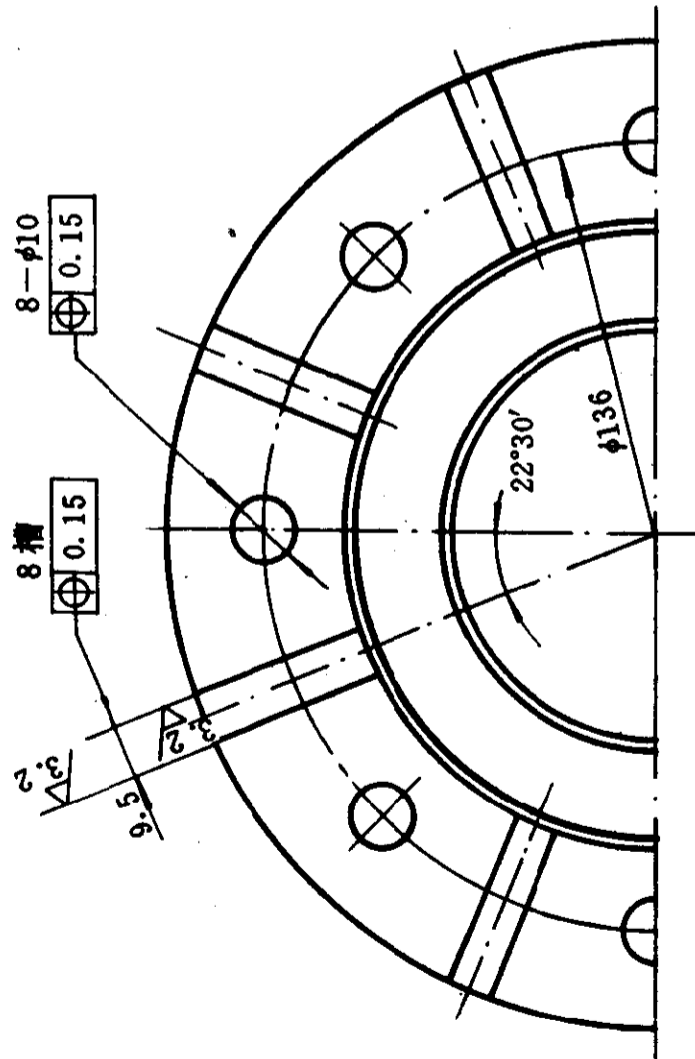
零件图是制造零件的主要技术依据,在设计工艺路线之前,首先需要进行仔细的工艺分析。通过了解零件的功用和工作条件,分析精度及其他技术要求,以便更好地掌握构造特点和工艺关键。

下面以某型发动机的轴套零件为例,进行零件图的工艺分析。

轴套零件(图 2-1)在中温(约 300℃)和高速(约 10000~15000r/min)的条件下工作。

轴套的内圆柱面 A1 和 G1 及端面 N 与涡轮轴配合,表面 B1 和 D1 与封严环配合,表面 C1 和 D 与滚动轴承配合,轴套内腔及端面 N 上的八个槽是冷却空气的通道,八个 $\phi 10$ 的孔,用以通过螺钉和涡轮轴连接。

在零件图上,应有完整地表达构形的视图、剖面 and 剖视等,还应有表示轮廓大小的定形尺寸、合理的精度及其它技术条件的要求,以及零件材料的牌号、热处理、表面处理与特种检验等



技术条件

1. I 级检验
2. 自由尺寸公差按 IT12
3. 磁力探伤
4. 氧化

材料: 40CrNiMoA

硬度: HB=285~321

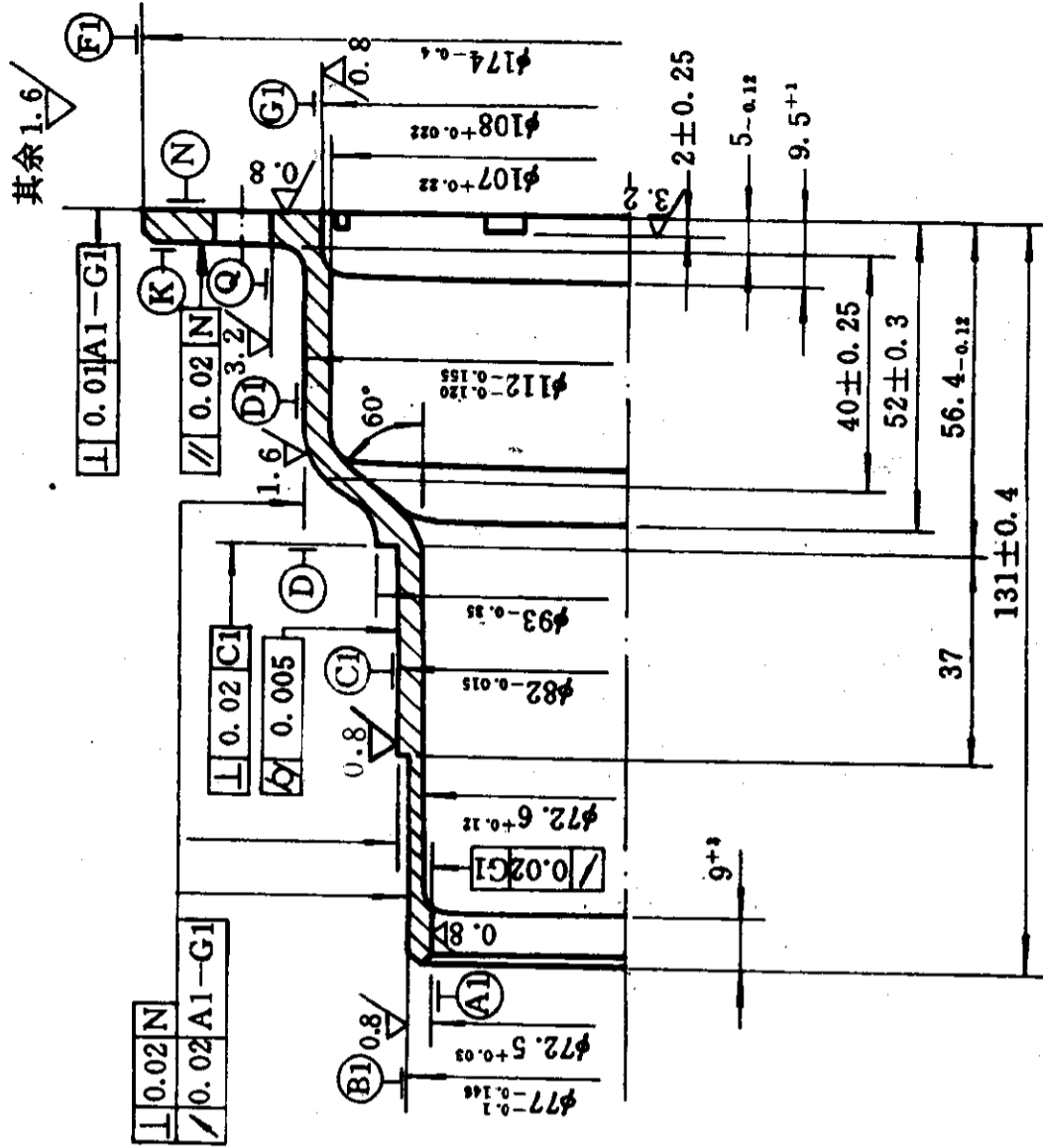


图 2-1 轴套零件图

的要求。

轴套零件从构形来看,各个表面并不复杂,但从零件的整体结构来看,则是一个刚性很差的薄壁件,最小壁厚只有 2mm。

从精度方面来看,主要工作表面的精度是 IT5~8 级,C1 的圆柱度为 0.005mm,工作表面的粗糙度为 $\sqrt[0.8]{\quad}$,非配合表面的粗糙度则是 $\sqrt[1.6]{\quad}$ (在高转速条件下工作,为提高抗疲劳强度)。位置关系精度,如平行度、垂直度和圆跳动的允差等,均在 0.01~0.02mm 之间。

在材料方面,高合金钢 40CrNiMoA 要求进行淬火后回火,保持硬度为 HB285~321,最后要进行表面氧化处理。按零件图要求,毛坯采用模锻件。

在对零件图要求有了了解以后,一般要进行下列几方面的分析:

1. 零件主要表面的要求及保证的方法

零件的主要表面是指零件与其它零件相配合的表面,或是直接参加机器工作过程的表面(如叶片与叶轮的叶型等)。除主要表面以外的表面,称自由表面。

主要表面的本身精度要求一般都比较高的,而且零件的构形、精度以及材料的加工性等问题,都会在主要表面的加工中反映出来。主要表面的加工质量对零件工作的可靠性与寿命有很大的影响。因此,在设计工艺路线时,首先要考虑如何保证主要表面的要求。

根据主要表面的形状、尺寸与精度等因素的要求,便可初步确定这些表面的最后加工方法。从而根据这些最后的加工方法,进一步确定在这以前的一系列准备工序的加工方法。如轴套的外圆表面 B1,C1 和 D1,精度为 IT8,IT5 和 IT7,粗糙度为 $\sqrt[0.8]{\quad}$,最后加工方法应选用磨削,而在这以前的准备工序则应为粗车及细车。内圆柱表面 G1 为 $\phi 108H6$,A1 为 $\phi 72.5H7$,它们的粗糙度均为 $\sqrt[0.8]{\quad}$,所以,应选用粗镗、细镗和磨削加工的方法来保证这些要求。

2. 重要的技术要求及保证的方法

重要的技术要求一般指表面的形状精度和位置关系精度、热处理、表面处理、无损探伤及其他特种检验等。

重要的技术要求是影响工艺路线设计的重要因素之一,特别是位置关系精度要求较高时,就会有很大的影响。如轴套上表面 A1 对 G1 的圆跳动为 0.02mm,则加工 A1 和 G1 时最好在一次安装中加工出来。又如 B1,C1 和 D1 对一组基准 A1—G1 有 0.02mm 的圆跳动要求,故最好是以这一组表面作基准来加工 B1 等三个外圆柱表面。

热处理的要求,对工艺路线的设计也有着较大的影响,如热处理后的变形,特别是热处理后的材料硬度,对加工方法(以及加工用量)的选择有很大影响。因此,在设计工艺路线时,要合理地安排其位置。

3. 表面位置尺寸的标注

在零件图上,某一方向上的一维直线尺寸系统中, N 个表面的位置,其定解尺寸数 $M=N-1$ 个。而 N 个表面间,可供设计选择标注的尺寸数 $L=C_N^2$ 个,当 N 数较大时, L 就比较大。而 N 个表面标注尺寸的方案数为 K ,据凯莱(Cayley)公式有: $K=N^{N-2}$ (即完全图中树的数目)。所以,表面数较多的零件,位置尺寸的设计与分析,就比较复杂。

一般表面间位置尺寸的标注,有三种方式,即坐标式、链接式和混合式。如图 2-2 所示。

位置尺寸标注的方式,在一定程度上决定了加工的顺序。坐标式标注法(图 2-2(a))的特点是尺寸都从一个表面(表面 A)注起,因此,应先加工表面 A,而其它表面的加工顺序就可视

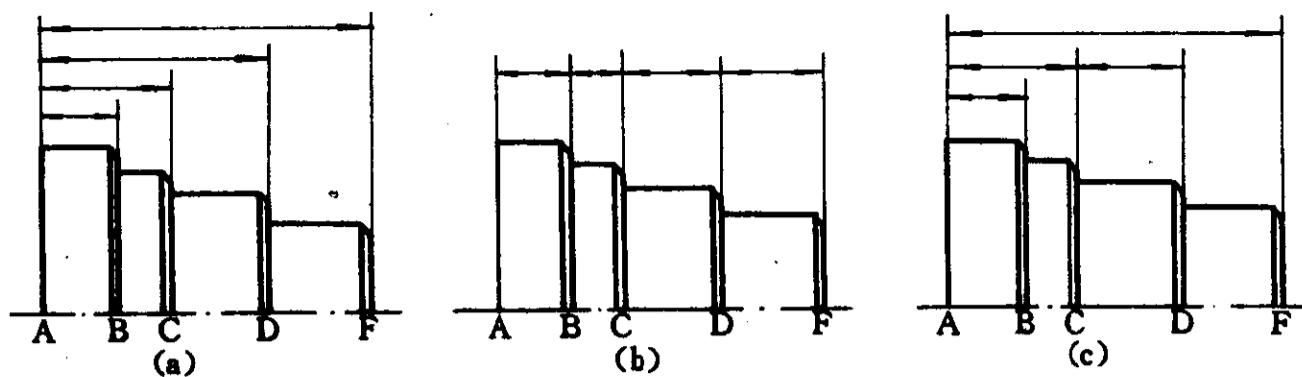


图 2-2 位置尺寸的标注方式

情况任意选定。链接式标注法(图 2-2(b))的特点是尺寸都是前后衔接的,因此,各表面的加工顺序应按尺寸标注的次序进行。混合式标注法(图 2-2(c))是由坐标式和链接式混合而成的。绝大多数零件都是采用这种方式标注尺寸的。这种标注法的加工顺序可以是先加工 A 面,然后可任意加工 B,C 或 F 面。而 D 面则应在 C 面加工后进行。

关于表面间位置关系精度的标注,情况也类似,如图 2-3 所示。加工顺序可按标注的次序进行。即先加工孔 H1,再加工外圆 A1 和 A2,然后再加工外圆 A3。

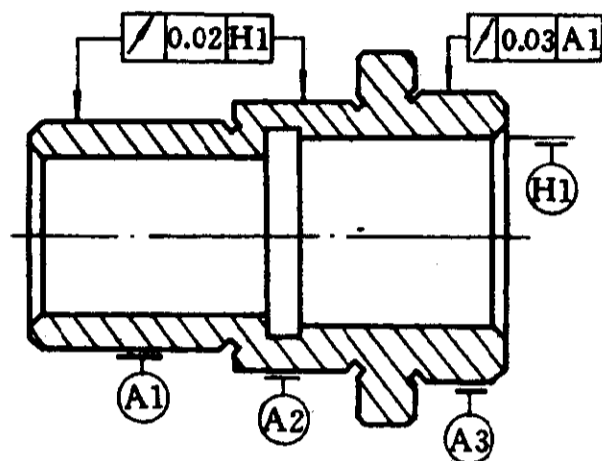


图 2-3 位置关系的标注法

由上述可见,在对零件图进行工艺分析时,应从构形、技术要求和材料各方面进行分析。尤其是对主要表面、重要的技术条件和主要的位置尺寸标注应作重点研究,从而掌握零件在加工过程中的工艺关键(如轴套的工艺关键是低刚度时高精度的保证问题),以及主要工序的大致情况,为具体设计工艺路线提供必要的技术基础。

图 2-4 是某工厂在成批生产条件下,加工轴套时所用的工艺路线。

§ 2-2 加工方法的选择

对零件各表面加工方法的不同选择,不但要影响加工质量,而且也要影响生产率和制造成本。在选择加工方法时,必须先了解加工方法的过程、工艺特点和应用范围。

在现代机械产品的制造过程中,金属切削方法仍然占据主要地位。由于科学技术的发展,特殊的结构及难加工材料的使用日益增多,导致了如电火花、电脉冲、电抛光、电解加工,以及超声波、化学加工、电子束和激光加工等特种加工方法的采用更为广泛。

在设计工艺路线时,首先要考虑选择各表面的加工方法。各个表面由于精度的要求,一般均不能只用一种方法、通过一次加工就能达到要求。对于主要表面来说,往往需要经过几次加工,由粗到精逐步达到要求。如图 2-1 所示的轴套端面 N,粗糙度为 $\sqrt[0.8]{}$,就需要用粗车、细车和磨削才能达到要求。

加工同一类型的表面,由于具体条件的不同,可以有很多不同的加工方法。而影响表面加工方法选择的因素是:表面的形状、尺寸、精度和粗糙度以及零件的整体构形、重量、材料和热处理等。另外,产量和生产条件也是影响加工方法选择的基本因素。现分别简述如下:

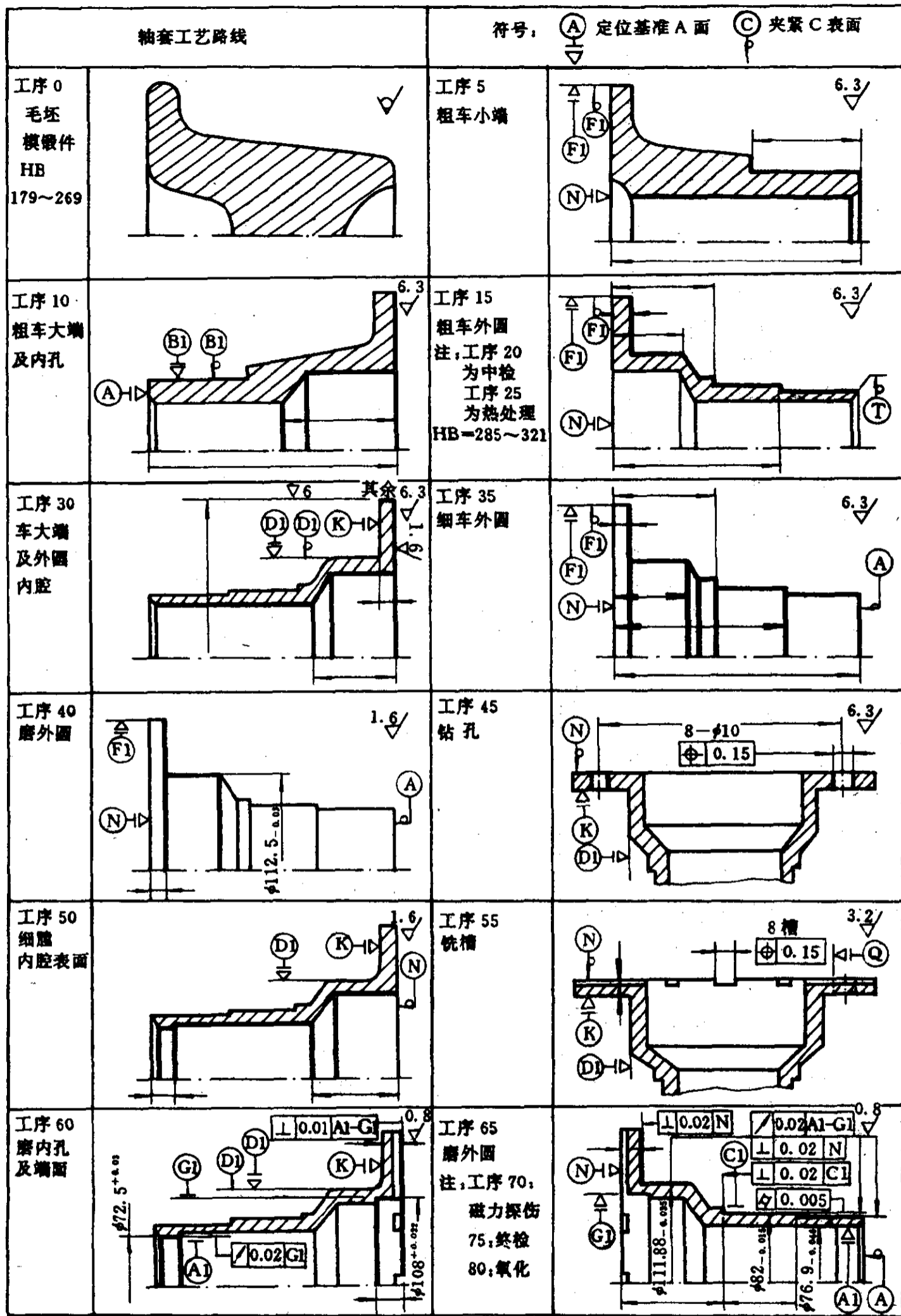


图 2-4 轴套工艺路线

1. 表面的形状和尺寸

工件表面的形状应与所选择加工方法的成形特性相适应。如孔可用钻和镗等加工方法, 螺纹则可用车与磨等加工方法。而形状不规则的凸轮的型面, 就无法采用无心磨削加工等等。表

面的尺寸大小,也要影响加工方法的选择,如小孔,可选择钻、铰和拉削等加工方法,而大尺寸的孔,则一般均采用镗和磨削等方法加工。

2. 表面的精度与粗糙度

任何一种加工方法,在正常生产条件下所能达到的加工精度,称为该方法的经济加工精度。工件表面加工方法的选择,应与经济加工精度相适应。如精度为 IT10,粗糙度为 $\sqrt{1.6}$ 的外圆表面,可用细车的方法;若精度为 IT5,粗糙度为 $\sqrt{0.1}$ 的外圆,则可选用精磨的方法。

3. 工件的材料与热处理

工件材料及热处理后的硬度,对加工性有很大的影响。硬度很低而韧性较大的材料,如有色金属,一般不采用磨削加工。对某些淬硬钢,因其硬度很高,不能采用金属切削刀具进行加工,而只能采用磨削加工。

4. 工件的整体构形与重量

某些工件的表面,不能只从表面本身的特性来考虑加工方法的选择。如 $\phi 25H7$ 的孔,可以用铰和拉等加工方法,若孔有阻挡或是盲孔,则就不能用铰或拉的方法,而只能选用精车或磨削的方法来加工。关于工件的尺寸与重量,对加工方法的选择也有一定的影响。当尺寸和重量很大时,常采用专用的自制设备进行加工。另外,大重量的工件要进行高速加工时,一般均采用刀具作高速运动的加工方法。

5. 产量与生产类型

选择加工方法时,不但要保证产品的质量,还要考虑生产率和经济性。当在大批大量生产时,一般均采用高效先进的加工方法;在单件小批生产中,大多采用通用设备和常规的加工方法。近年来,为提高单件小批生产的生产率和缩短生产周期,以适应产品品种多、变化快的特点,常采用数控机床和加工中心等近代加工方法。

6. 现场生产条件

选择加工方法,应基于现场的生产设备。在充分利用现有设备的同时,应根据需要对现有设备进行技术改造,以促进生产的发展。

在选择具体工件的加工方法时,上述因素的影响是综合体现的。如图 2-1 所示轴套零件的内孔 $\phi 108^{+0.022}$,其精度为 IT6,粗糙度为 $\sqrt{0.8}$ 。对于 6 级精度的内孔来说,可以采用铰、拉、精镗和磨削等加工方法。但由于内孔直径较大($\phi 108$),而且有阻挡,所以铰和拉的方法均不合适。又因在孔口有小槽,采用精镗加工也不利,所以只可选用磨削的方法。

在各表面的加工方法初步选定以后,还应综合考虑各方面的工艺因素影响。如图 2-1 所示的轴套内孔 $\phi 72.5^{+0.03}$,其精度为 IT7,粗糙度为 $\sqrt{0.8}$,可以采用精镗的方法来保证,但由于 $\phi 72.5^{+0.03}$ 相对于内孔 $\phi 108^{+0.022}$ 有 0.02 的圆跳动要求,因此这两个表面应安排在一个工序,均采用磨削方法来加工。

在选择加工方法时,首先应选定主要表面的最后加工方法,然后再选择最后加工以前的一系列准备工序的加工方法,最后才选定次要表面的加工方法。

表面的加工方法及其经济精度见附录二。

§ 2-3 阶段的划分

工艺路线按工序性质的不同,一般可划分成几个加工阶段,即粗加工阶段、细加工阶段和精加工阶段。

粗加工阶段:这个阶段的主要任务是切除大部分余量,其特点是加工余量大。因此,切削力、切削热和夹紧力等都比较大大。所以加工精度不高(IT12级左右, $R_a=50\sim 12.5\mu\text{m}$)。在这个阶段中,主要问题是如何提高生产率。

细加工阶段:这个阶段的任务是达到一般的技术要求,即各次要表面达到最终要求,并为主要表面的精加工作准备。本阶段的加工特点是加工余量较小,加工精度有所提高(IT9~11级, $R_a=6.3\sim 1.6\mu\text{m}$)。

精加工阶段:这个阶段的主要任务是达到零件的全部技术要求(重点是保证主要表面的加工质量)。其特点是加工余量较小,加工精度很高。这个阶段的主要问题是如何保证质量问题。

在毛坯余量特别大的情况下,有时在毛坯车间还进行去外皮加工。

在零件上有要求特别高的表面(精度在IT5级以上,粗糙度 $R_a=0.1\sim 0.01\mu\text{m}$)时,在精加工阶段后,还要进行光整加工。

工艺路线要划分阶段的主要原因是零件依次按阶段进行加工,有利于消除或减少变形对精度的影响。一般说来,粗加工切除的余量大,切削力、切削热以及内应力重新分布等因素引起工件的变形就较大。细加工时切除的余量较小,工件的变形也相对减小。精加工时的变形就更小些。因此,工艺路线划分成阶段进行加工,可避免发生已加工表面的精度遭到破坏的现象。

在工艺路线划分阶段后,同时可带来以下好处:

- (1) 全部表面先进行粗加工,便于及早发现内部缺陷;
- (2) 在安装及搬运过程中,可使已加工好的表面减少受到损伤的机会;
- (3) 可合理地选择设备,并有利于车间设备的布置。

工艺路线是否要划分阶段,以及划分的严格程度,主要由工件的变形对精度的影响程度来确定。

如轴套是一个薄壁件,最小壁厚只有2mm,刚性很差,而主要表面的精度很高,在IT5~8级之间,形状和位置关系精度也很高,而且加工余量也较大。因此,轴套在加工时需划分成三个阶段加工。

对于刚性较好、精度要求不高或加工余量不大的工件,则不一定要划分或严格划分阶段。因为划分阶段进行加工,不可避免地要增加工序的数目,从而使加工劳动量增加,并使成本提高。

在机械加工过程中,如果工件需要进行热处理,则至少要把工艺路线分为两个阶段。这是因为热处理往往要引起较大的变形,并使粗糙度的 R_a 值加大。

工艺路线的划分阶段,是指整个工件的加工过程来说的,不能以某一表面的加工或某一工序的性质来判断。如工件的定位基准,在细加工阶段中(甚至在粗加工阶段中)就需要加工得很准确;在精加工阶段中,有时也因尺寸标注的关系,安排某些小表面(如小孔、小槽等)的细加工工序。

在划分了阶段以后,就确定了各表面加工方法的大致顺序。

§ 2-4 工序的集中与分散

在设计工艺路线时,当选定了各表面的加工方法并确定了阶段划分以后,就可将同一阶段中的各加工表面组合成若干工序。组织时可采用集中或分散的原则。

工序集中原则,是使每个工序包括尽可能多的内容,因而使总的工序数目减少。工序分散原则,则与此相反。因此,工序的集中与分散,要影响工序的数目和工序内容的繁简程度。

1. 工序集中和工序分散原则的特点

工序集中的特点是:工序数目少、工序内容复杂,因而有:

- (1) 工序数目少,简化了生产组织工作;
- (2) 减少了设备数目,从而节省了车间生产面积;
- (3) 减少了安装次数,缩短了工件的运输路线,有利于提高生产率和缩短生产周期;
- (4) 有利于采用高生产率的设备,特别是数控机床和加工中心等,可提高产品质量和生产率;
- (5) 设备成本费高,调整、维修费时,生产准备时间较长。

工序分散的特点是:工序数目多,工序内容简单,因而有:

- (1) 设备和工艺装备简单,调整、维修比较简单;
- (2) 生产准备工作量小,产品变换容易;
- (3) 设备数量多,生产面积大,生产组织工作复杂,生产周期长。

2. 选用两种原则时应考虑的因素

两种原则各有特点,因此在加工过程中均有采用。这两种原则的选用以及集中、分散程度的确定,一般需考虑下述因素:

(1) 生产量的大小

在通常情况下,产量较小(单件小批生产)时,为简化计划与调度等工作,选取工序集中原则比较便于组织生产。当产量很大(大批大量生产)时,可选取分散原则,以利于组织流水线生产。

(2) 工件的尺寸和重量

对尺寸和重量较大的工件(如本体等),由于安装和运输困难,一般宜采用集中原则组织生产。

(3) 工艺设备的条件

工序集中,则工序内容复杂,需要用高效和先进的设备,才能获得较高的生产率。

另外,还必须指出两点:

(1) 若采用工序集中原则,则有很多表面在一个工序中加工,在一次安装的条件下,可以获得较高的位置精度。

(2) 目前,国内外都在发展高效和先进的设备,在生产自动化基础上的工序集中,是机械加工的发展方向之一。

§ 2-5 基准选择

在设计工艺路线时,重要问题之一是要考虑位置精度的保证问题。

在零件图中,通过设计基准和设计尺寸来表达各表面的位置要求。在加工时,是通过原始基准及原始尺寸来保证这些位置要求的。而原始尺寸方向上的位置,在加工时是由定位基准来确定的。加工后工件上各表面间的位置是通过测量基准来进行检验的。

因此,基准选择主要是研究加工过程中的表面位置精度要求及其保证的方法。

一、原始基准的选择

零件图上各表面间的位置精度,是通过一系列工序加工来保证的。这些工序的顺序、原始尺寸的大小和标注方式,是和零件图上的要求直接有关的。

图 2-5 所示为某轴承套有关的轴向尺寸和精度要求。

四个轴向端面由三个设计尺寸进行联系,其中端面 B 是轴向主设计基准。

这些要求是需要通过一系列工序的加工来保证的。

图 2-6 所示为加工此轴承套的最后四个加工工序。

工序 30 是磨削外圆及端面,工序 25 是磨削内孔及

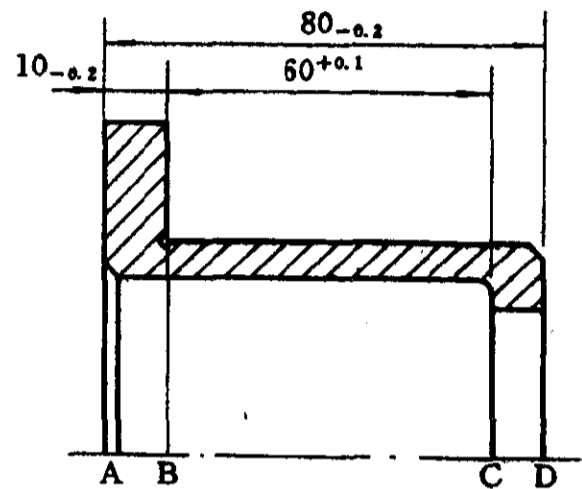


图 2-5 轴承套的轴向尺寸

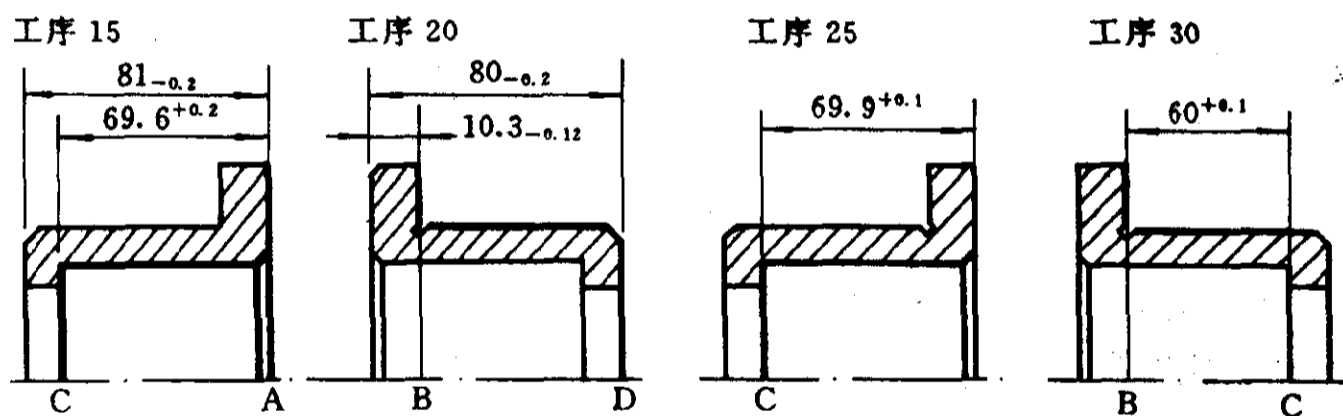


图 2-6 轴承套加工的工序

端面,工序 20 是细车外圆及端面,工序 15 则是细车内孔及端面。

这些工序的原始尺寸间的关系,如图 2-7(a)所示。图中尺寸的编号由最后一个工序开始往前依次标定。尺寸线上的箭头代表加工面,而另一端小圆点代表原始基准。

工序 30 中,原始尺寸①直接保证了设计尺寸 $60^{+0.1}$,称工序 30 为 $60^{+0.1}$ 这一尺寸要求的最终工序。同理,工序 20 是设计尺寸 $80_{-0.2}$ 的最终工序。除最终工序之外,其他工序均称为中间工序。

1. 最终工序的原始基准选择

在最终工序中,原始尺寸(包括相互位置关系)若要直接按零件图上的有关位置尺寸进行标注,则原始基准必须与设计基准重合。

在工序 30 中,加工 B 表面时,原始基准和设计基准是重合的。在工序 20 中,加工 D 表面时,其原始基准也是和设计基准重合的。所以,工序图上的原始尺寸可以直接用零件图上的尺

寸来进行标注。

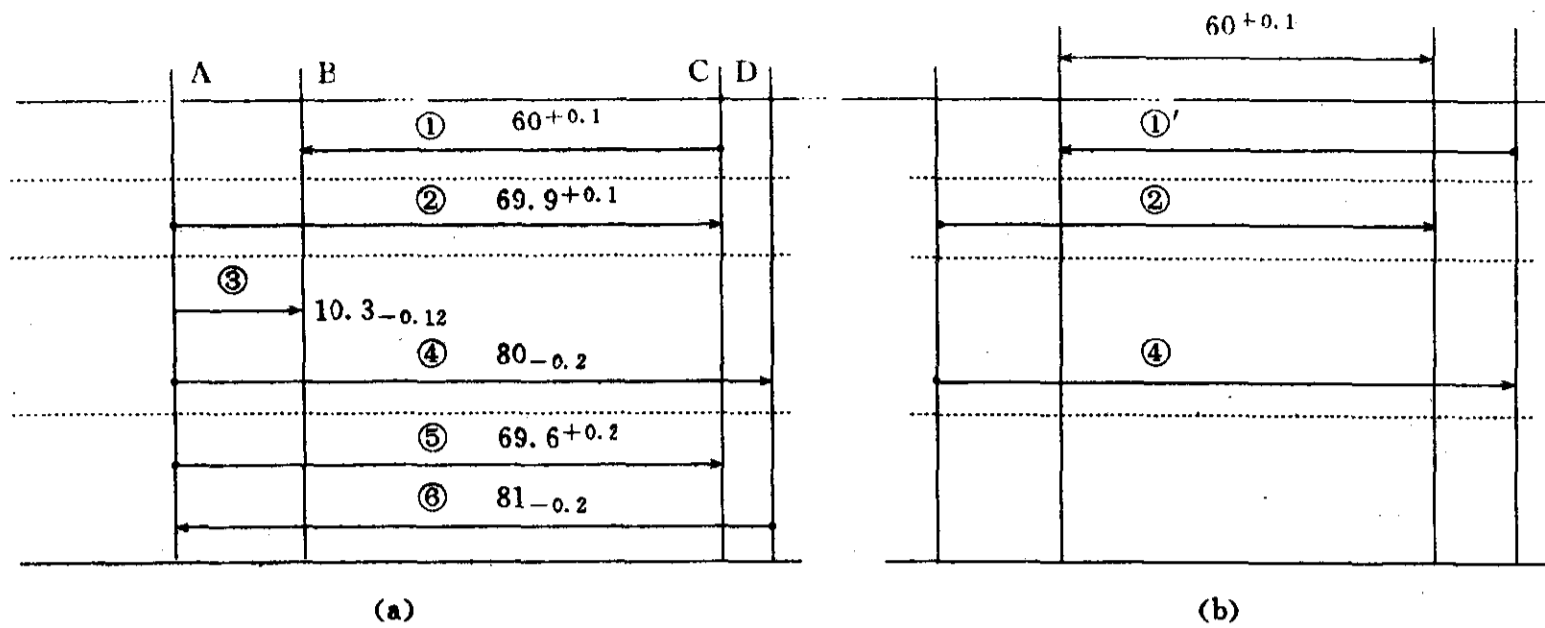


图 2-7 轴承套加工时的原始尺寸

若在工序 30 中, B 表面加工时的原始基准取在 D 面上, 由于 B, D 表面间没有设计尺寸, 所以这两个表面间的原始尺寸①'要通过有关尺寸的换算才能得到。但是, 换算后的原始尺寸公差, 必然要比直接按零件图尺寸标注时小, 即公差要压缩(见图 2-6(b))。工序 30 中的原始尺寸①', 以及工序 25 的原始尺寸②、工序 20 的原始尺寸④与零件图上设计尺寸 $60^{+0.1}$ (封闭环) 组成了一个尺寸链。因此, 这三个原始尺寸的公差之和不能大于 0.1, 否则就有报废的可能。这就大大地提高了对加工的要求, 从而使加工的经济性大大地下降, 甚至由于要求过高而难于保证质量。

另外, 被加工表面的位置要通过测量原始尺寸来进行检验。所以在选择原始基准时, 还应考虑测量方便, 并使测量工具尽量简单。

有时, 为了测量方便, 原始基准就不能和设计基准重合。如图 2-8 所示, 图(a)为某型发动机压气机盘零件图的部分尺寸要求, 图(b)为加工外型表面的最终工序简图。

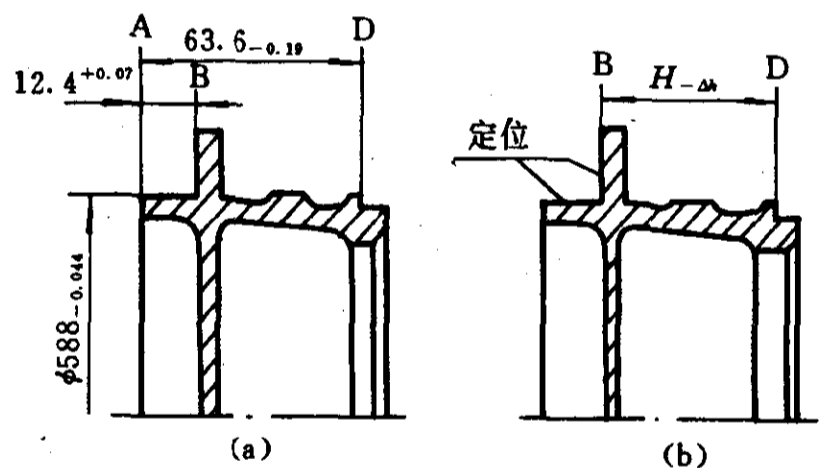


图 2-8 原始基准的选择

对端面 D 来说, 设计基准是 A 面, 而该工序径向用 $\phi 588_{-0.044}$ 的外圆定位, 轴向用端面 B 定位, 并用轴向夹紧。若选用 A 面作原始基准,

则测量就比较困难。所以选用 B 面作原始基准。此时, 原始基准和设计基准不重合, 所以, 在零件图上就没有和 $H_{-\Delta}$ 相对应的设计尺寸, 必须通过 $63.6_{-0.19}$ 等尺寸进行换算。

综上所述, 最终工序的原始基准选择的原则是:

- (1) 原始基准和设计基准重合, 以避免尺寸换算而压缩公差;
- (2) 便于作测量基准, 以使测量方便和测量工具简单。

另外, 在最终工序选择原始基准时, 尤其是加工主设计基准的最终工序, 常常会遇到多尺寸保证问题。

如轴承套(图 2-5)凸缘的厚度尺寸 $10_{-0.2}$, 是表面 A, B 间的距离, 对这一位置尺寸来说, 最终工序也是 30 工序。所以, 当表面 B 加工好后, 不但要保证设计尺寸 $60^{+0.1}$, 而且也要保证

零件图上设计尺寸 $10_{-0.2}$ 的要求。这就产生了多尺寸保证问题。

由于在加工过程中,一个加工表面在同一方向上只能标注一个原始尺寸,所以,多尺寸保证一定会有尺寸换算,以使不标注的其它尺寸得以间接保证。如在工序 30 中,标注原始尺寸 $60^{+0.1}$,而 $10_{-0.2}$ 是通过有关尺寸的换算而间接保证的。

多尺寸保证,实质上仍是原始基准和设计基准不重合的问题。因为加工 B 面时,对设计尺寸 $10_{-0.2}$ 所联系的 A 面来说,也是设计基准,而原始基准又不在 A 面,因而也就产生了间接保证的问题。

在多尺寸保证的情况下,原始基准选择时,应直接保证公差最小的设计尺寸,以使其它间接保证的设计尺寸的公差比较大。这样,可使组成尺寸链的各组成环能分配到较大的公差,加工就比较简单,经济性也较好。

2. 中间工序的原始基准选择

对于中间工序,由于被加工表面的位置尺寸尚未达到零件图的要求,所以也就没有设计基准问题。但是,中间工序原始基准的选择,对整个工艺过程的经济性会有很大的影响。

中间工序的原始尺寸,有些是与间接保证设计尺寸有关的,即参与间接保证某一设计尺寸的尺寸链计算。另一些则是无关尺寸,即不需要参加尺寸链计算。

在工序 25(图 2-6)中,原始尺寸 $69.9^{+0.1}$,对表面 C 相对于表面 B 的位置要求来说,是中间工序,但这个尺寸要参加保证设计尺寸($10_{-0.2}$)的链计算。若加工时原始基准取 A 面,则尺寸链如图 2-9(a)所示。若原始基准取在 B 面,则尺寸链如图 2-9(b)所示,原始尺寸为②'。

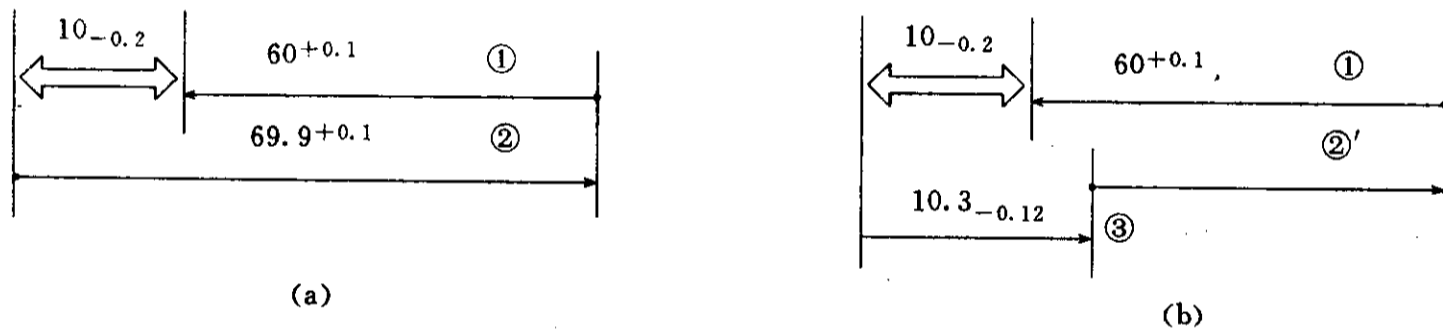


图 2-9 两种尺寸链方案

当原始基准取在 A 面时,则保证设计尺寸 $10_{-0.2}$ 的尺寸链组成环是原始尺寸①和②,此时,这两个尺寸的公差之和可以是 0.2。若原始基准取在 B 面,则尺寸链的组成环是①,②'和③,所以这三个尺寸的公差之和将不能超过 0.2,这势必要使每个工序的公差都要缩小,从而使加工困难、成本增高。

另外,原始基准的选择,还要影响切除余量的变化量。

如工序 30(图 2-6)磨端面时,磨削去除的最大及最小余量是由尺寸①,②和③来决定的。当①,③尺寸做成最大、②尺寸做成最小时,切除的将是最大余量。反之是最小余量。如图 2-10(a)所示。

由计算,最大余量为 0.5,最小余量为 0.18,余量的变化量 0.32。这个变化量的数值,就是尺寸①,②和③的公差之和。

若在工序 20 中,加工端面 B 的原始基准不取在 A 面,而是取在 D 面,则在工序 30 中加工端面 B 时,磨削的余量变化将由尺寸①,②,③'和④来确定。设③'尺寸的公差仍和尺寸③的公差一样,为 0.12,则余量的变化可由尺寸链方程进行计算(图 2-10(b)):

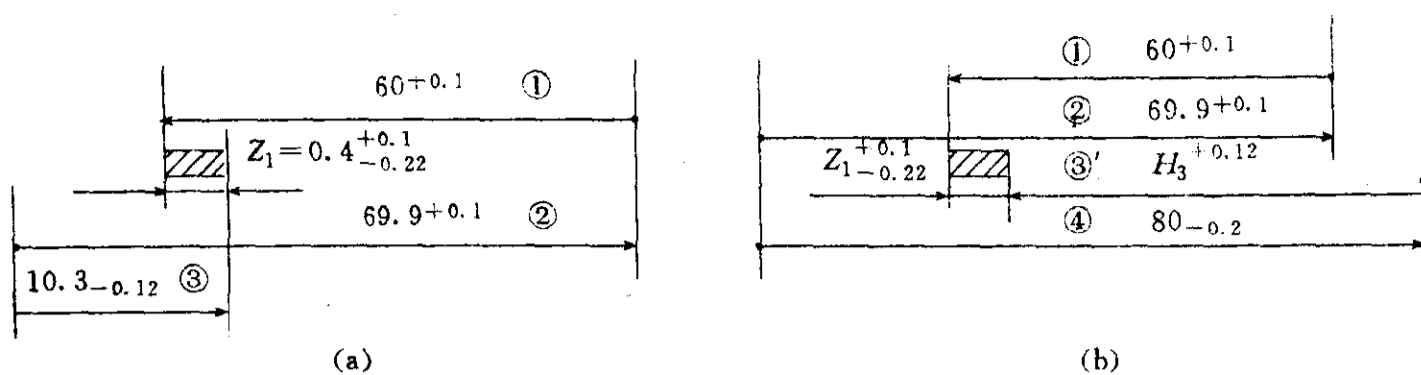


图 2-10 原始基准选择与余量变化

$$\Delta Z_{1s} = 0.1 + 0 - 0 - 0 = 0.1$$

$$\Delta Z_{1x} = 0 + (-0.2) - 0.1 - 0.12 = -0.42$$

余量变化量为

$$\delta = \Delta Z_{1s} - \Delta Z_{1x} = 0.1 - (-0.42) = 0.52$$

由此可知,原始基准选择不同,余量的变化量也有所变化。

一般说来,余量的变化,对粗加工和细加工的影响较小。而对精加工来说,尤其是端面的磨削,则对生产率有很大的影响。因此,一般在设计工艺过程时,只对精加工(有时也包括细加工)进行余量的校核。

由以上分析可知,中间工序的原始基准选择,同样要影响产品的质量、生产率和经济性。一般选择的原则是:

- (1) 当原始尺寸参与间接保证零件的设计尺寸时,选择原始基准应使有关尺寸链的环数要少;
- (2) 要使精加工时的余量变化量小;
- (3) 中间工序的原始尺寸也要测量,因此所选原始基准应便于作测量基准,以使测量方便和测量工具简单。

在选择原始基准时,不论是最终工序还是中间工序,都不能孤立地只考虑一个尺寸或一个工序,而应该对整个加工过程进行分析。

在一个零件上,各表面间的位置是通过一组设计尺寸(或位置关系)来确定的。在加工过程中,各加工表面间的位置也是通过一组原始尺寸(或位置关系)来保证的,如图 2-11 所示为轴承套的有关尺寸。

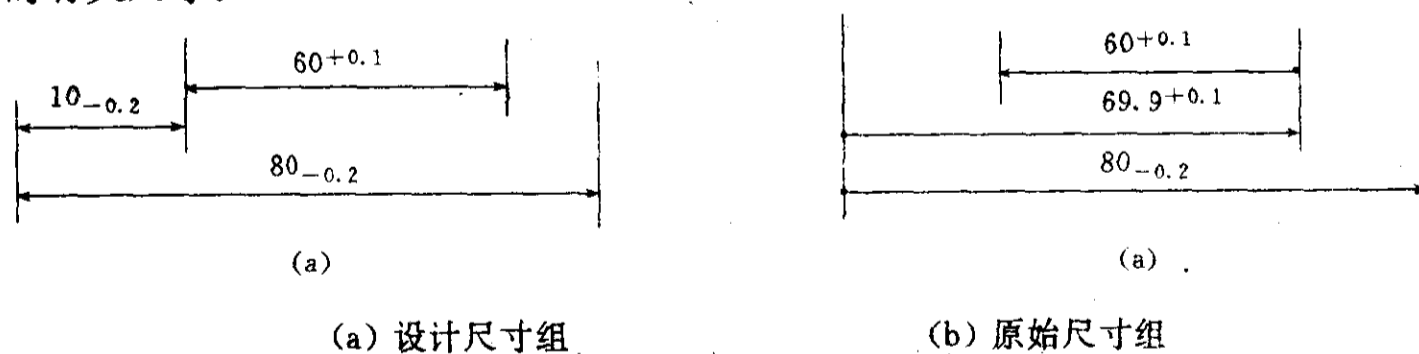


图 2-11 设计尺寸和原始尺寸

在选择原始基准时,应使原始基准系统和设计尺寸系统相适应。即不但要保证设计尺寸要求,而且要有良好的工艺性,以使加工方便,从而提高其生产率和经济性。

二、定位基准的选择

1. 定位基准选择原则

在加工过程中,定位对加工质量有很大的影响,所以需要合理地选择定位基准。

进行某一工序加工时,该工序所用的定位基准,必须在加工以前准备好。如在轴套的加工过程(图 2-4)中,工序 15 所用的定位基准,由工序 10 进行加工,工序 40 所加工的表面(D1 和 K),则作为工序 45,50,55 和 60 的定位基准。

定位基准本身准确与否,要影响定位的精度,从而影响被加工表面的位置准确性。所以,对于位置精度要求较高的工序,必须先准备好准确的定位基准,甚至设置专门加工基准的工序,如轴套加工工序 40,磨削 D1 和 K 面,其目的就是制造准确的定位基准。

由于工序性质的不同,在各个加工阶段中,对定位基准的要求也不同。

(1) 粗加工阶段

因为粗加工的主要任务是切除大部分余量,因此,要考虑能用较大的切削用量以提高生产率。在选择定位基准时,应着重保证工件在安装时要稳定可靠。如轴套在粗加工时,采用较大的外圆作为径向定位基准和夹紧表面,以利于传递较大的扭矩。

(2) 细加工阶段

在这个阶段中,由于要达到一般次要表面的最终要求,并为主要表面精加工作准备,因此就要较多的考虑位置精度的保证问题。在细加工阶段开始时,要将某些表面进一步加工准确,尤其是在粗加工阶段后安排有热处理工序时,对作为定位基准的表面,有必要进行修复。

(3) 精加工阶段

在精加工阶段,主要的任务是保证精度问题。因为此时大部分余量已经切除,工件的刚度相对下降,而加工精度要求更高,因此,要特别注意保证有高的定位精度。

由以上分析可知,在选择定位基准时,应该使定位准确、稳定可靠,并使夹具的构造比较简单。

另外,在选择定位基准时,还应考虑它和原始基准的关系。

在加工时,定位基准用来确定工件在原始尺寸方向上的位置,从而保证原始尺寸的精度。因此,定位基准直接和原始基准有关。但是用试削法获得精度时,原始尺寸方向可以不定位。如图 2-12(a)所示,轴向尺寸 $60_{-0.12}$ 用试削法保证,工件在轴向可以不定位。在自动获得精度的情况(如定距装刀和数控加工等)下,则工件在轴向需用 A 面来定位,以保证轴向尺寸 $60_{-0.12}$ 的精度,如图 2-12(b)所示。

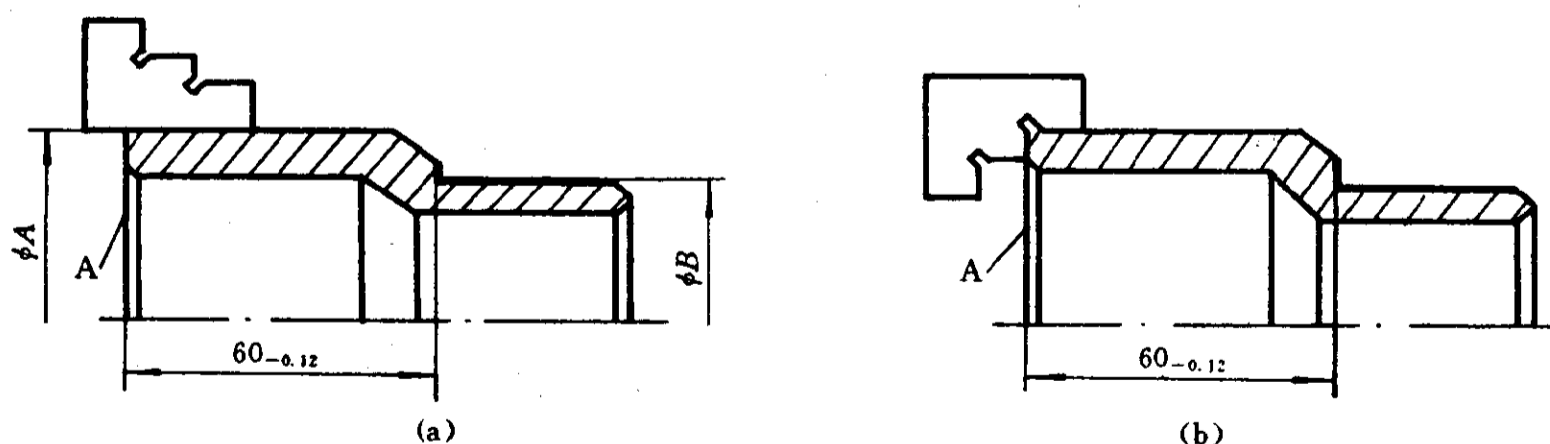


图 2-12 试削与定距装刀时的定位

在图 2-12(a)中,虽然尺寸 $60_{-0.12}$ 是用试削法来保证的,但对于 ϕB 来说,径向的位置是由机床和夹具自动保证的,所以在径向需要用 ϕA 来定位。

由以上分析可知,定位基准只是在自动获得精度的情况下,才与原始基准有联系。

在自动获得精度的情况下,定位基准如果与原始基准不重合,则要产生定基误差。

定基误差是由于定位基准与原始基准不重合而引起的原始尺寸误差,其数值的大小等于从原始基准到定位基准之间距离的公差值。

如图 2-13 所示,(a)为工序 10 车外圆及端面的加工简图,(b)为工序 15 钻孔的加工简图,(c),(d)和(e)分别是钻孔工序的三种轴向定位基准选择的方案。

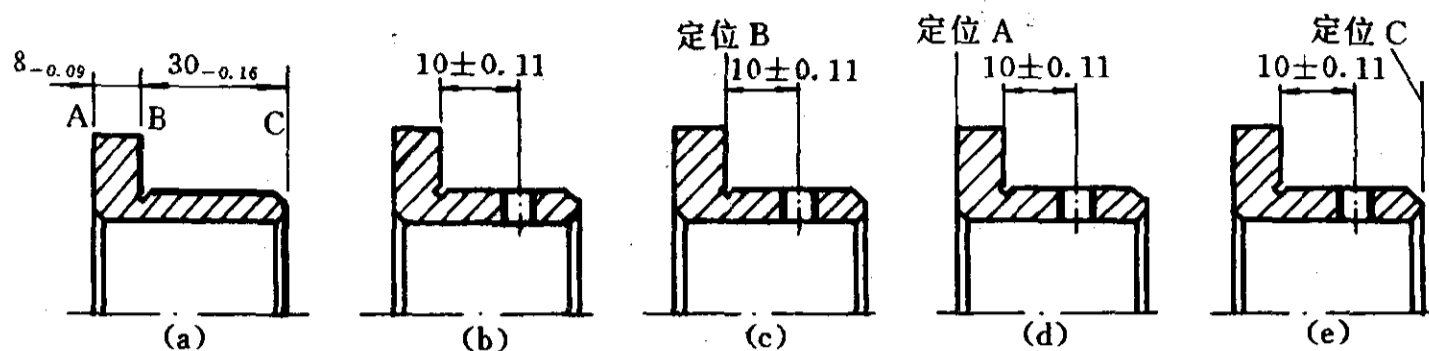


图 2-13 定位基准选择与定基误差

(1) 方案 1 (图(c))

定位基准与原始基准重合,没有定基误差。

(2) 方案 2(图(d))

定位基准与原始基准不重合,两者之间的位置尺寸是 $8_{-0.09}$ 。

在钻孔时,工件以 A 面在夹具中定位,就一批工件而言,原始基准是有变动的,其变动量(0.09mm)将造成原始尺寸的变化,这部分变动量就叫定基误差。

由于定基误差的存在,允许的加工误差就要比工序公差来得小,如图 2-14 所示。

由尺寸 $10_{\pm 0.11}$ (封闭环)及 $8_{-0.09}$ (减环)可以计算出定位基准到小孔中心线的尺寸是 $18_{\pm 0.02}$ (增环)。

本工序的工序公差是 0.22,由于存在定基误差 0.09,所以,允许的加工误差只有 0.13(即尺寸 $18_{\pm 0.02}$ 的公差值)。所以,当工序公差要求比较严格时,最好避免产生定基误差。

(3) 方案 3(图(e))

本方案用 C 面作定位基准,由于定位基准与原始基准不重合,所以也存在定基误差,其值为 B,C 面之间的距离公差值,即 0.16,比方案 2 还要大些。

由此可见,定位基准选择不同,定基误差的大小也随之而异。定基误差只与选择定位基准有关,和定位方法、加工方法无关。在很多情况下,定基误差要占去原始尺寸公差中相当大的一部分。因此,在选择定位基准时,应力求与原始基准重合,以消除定基误差的影响,从而便于保证原始尺寸的精度要求。

近年来,由于科学技术的发展,一般加工中心机床上都带有测量系统,这对消除定基误差创造了有利条件。如图 2-15 所示的本体零件,要求加工一孔,其工序尺寸为 $78_{\pm 0.06}$,尺寸 H_1 为 $174_{-0.16}$,已在前面工序加工完毕。若在高度方向用底面 B 定位,则定基误差就超过了工序

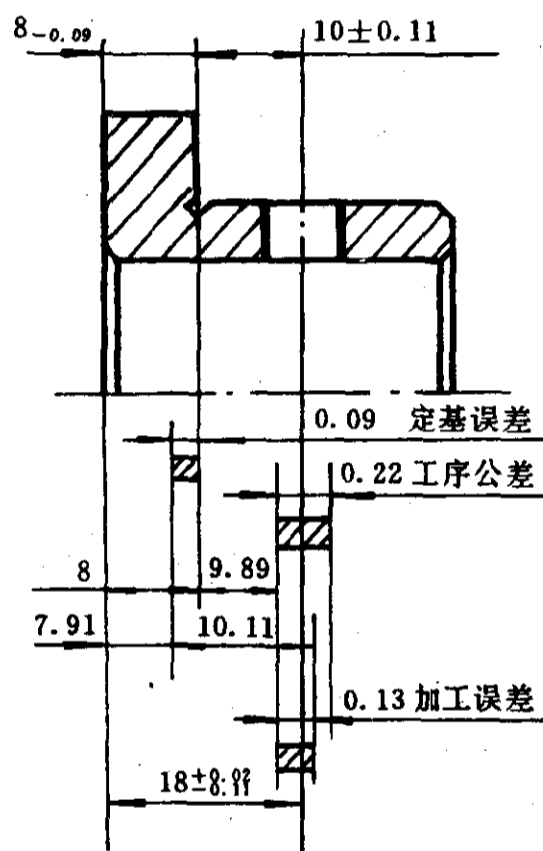


图 2-14 定基误差与加工误差

的加工公差。若采用加工中心机床加工该孔时,先将工件安装好后,再测量每个工件的 A 面(原始基准)在机床坐标系中的位置,机床将此信息自动输入计算机进行计算,按每个工件上 A 面的高度,机床自动调整切削工具的位置,而后进行加工。在这种方法中,A 面在实质上起到了定位基准的作用,因此也不存在定基误差的问题。

综上所述,定位基准选择的原则是:

- (1) 定位基准应力求与原始基准重合;
- (2) 应使定位准确和稳定可靠,并使夹具结构简单。

2. 辅助定位基准

在加工过程中,有时会找不到合适的表面作定位基准,为了便于安装和易于获得所需要的加工精度,可以在工件上特意作出供定位用的表面,或把工件上原有的某些表面,提高它们的加工精度。这类用作定位的表面,称之辅助定位基准。

辅助定位基准在加工中是经常采用的,典型的例子是轴类零件上的中心孔。利用中心孔就能很方便地将轴安装在顶尖间进行加工。

某些工件在毛坯上多增加一块材料,作为辅助定位基准。如图 2-16 所示的小壳体,在毛坯铸造时,中心部分多制出一段圆柱,作为加工时的定位基准。

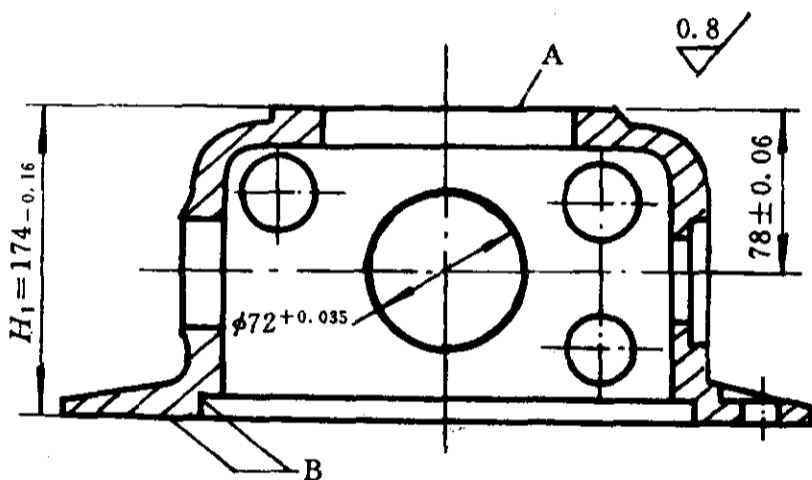


图 2-15 本体加工时的检测定位

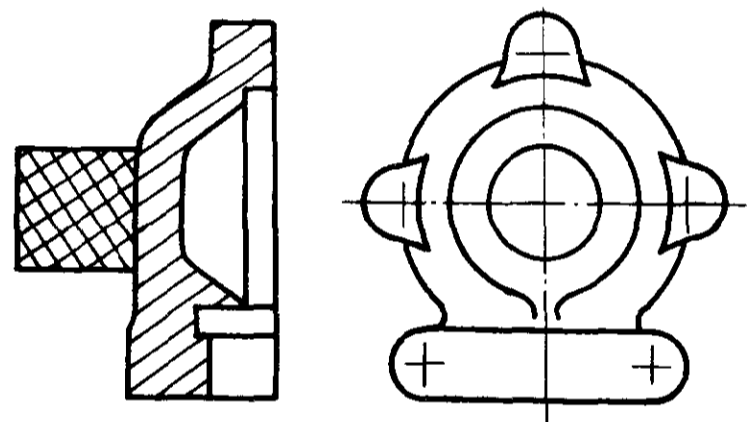


图 2-16 在铸件上铸出的辅助定位基准

又如图 2-17 所示为发动机的叶片,在叶片端部增加了一个工艺凸台,利用凸台上的平面和小孔来进行定位。

这类辅助定位基准所增加的材料,在加工过程中完成定位任务以后,把它们从工件上切除。

另外,还会遇到不用工件上的表面作辅助定位基准,而是在工件上加上一个辅助件,用辅助件上的表面作为辅助定位基准的情况。如压气机轴在精加工时,要用内花键进行定位,如图 2-18 所示。由于轴较长而花键又很短,所以在加工内花键以前,先在轴的另一端压入一个辅助件,然后在工件和辅助件上同时将花键拉出,作为定位基准。在完成定位作用后,再将辅助件压出。

有时,将零件上某些原来要求不高的表面加工得比较准确,作为以后工序的定位基准。使用这种辅助定位基准,在制造上一般比较简单,如轴套工序 40(图 2-4)中,提高了外圆的精度,为以后工序作定位基准。所以这种方法使用也较多。

3. 初次定位基准

当工件由毛坯进行初次加工时,所用的定位表面称为初次定位基准。

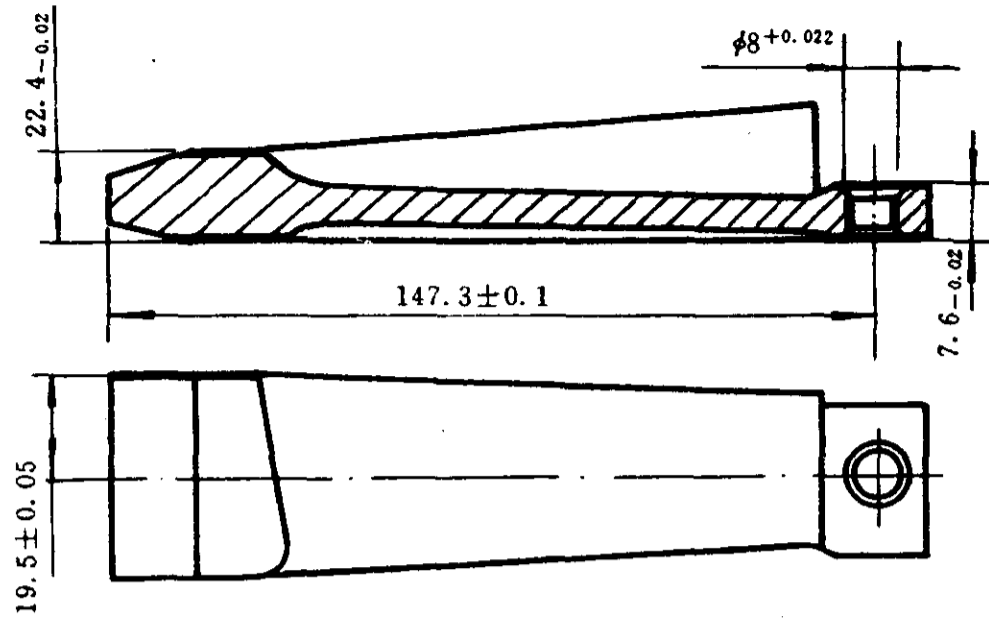


图 2-17 叶片的辅助定位基准

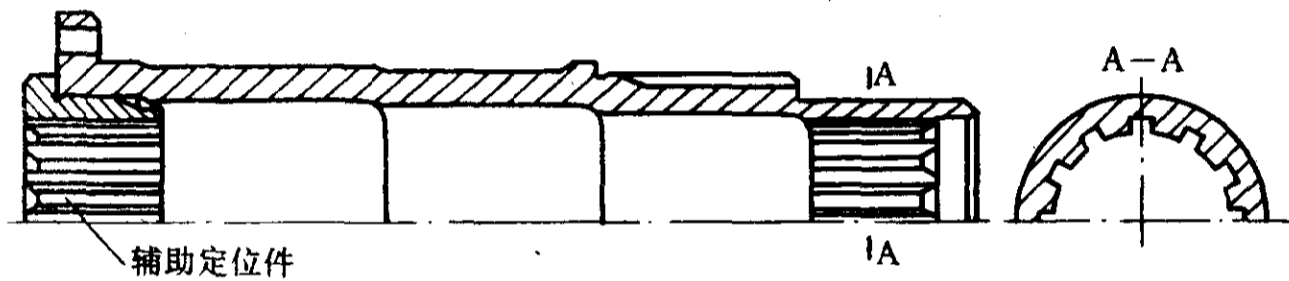


图 2-18 用辅助件作辅助定位基准

初次定位基准是毛坯上的表面，一般精度较低，粗糙度 R_z 的数值也较大。所以，一般只使用一次，在以后的加工中，应利用经过机加工的表面进行定位。

在选择初次定位基准时，应特别注意下列几个方面：

(1) 对于不需要加工全部表面的零件，应选取始终不加工的表面作初次定位基准。

这是因为要较好地保证加工表面组和不加工表面组之间有较高的位置精度。如图2-19(a)所示的零件，为了保证壁厚均匀，初次定位基准应选用不加工的内圆和端面：

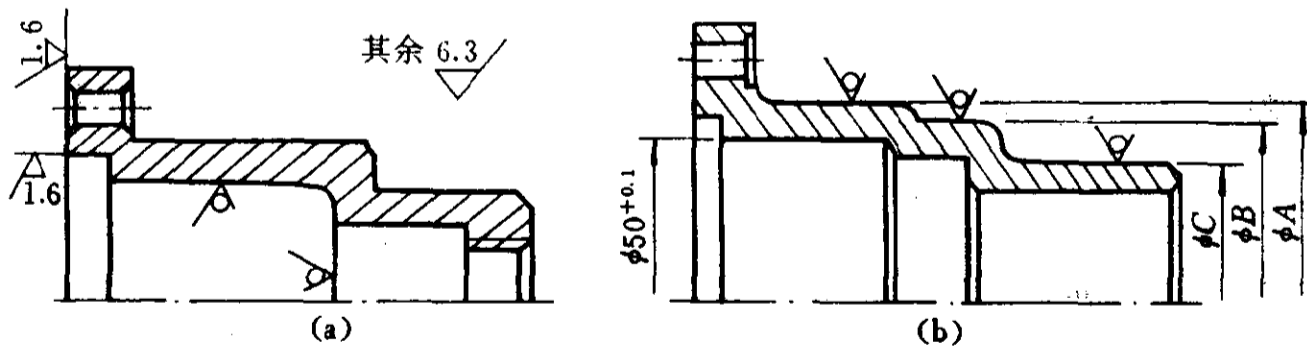


图 2-19 用不加工表面作初次定位基准

若零件上有很多不加工表面时，则应选择其中与加工面有较高相对位置精度要求的表面作初次定位基准。如图2-19(b)所示的零件，在径向有三个不加工表面 ϕA 、 ϕB 和 ϕC ，若要求 ϕA 和 $\phi 50^{+0.1}$ 之间的壁厚要均匀，则应在这三个不加工表面中选取 ϕA 作为径向的初次定位基准。

(2) 对于要加工全部表面的零件，则应选取加工余量小的表面作初次定位基准。

由于毛坯上各表面的本身精度和各表面间的位置精度都很低，所以首先要使余量小的表

面的余量分布均匀,以避免加工不出来。如图 2-20 所示为柱塞杆的毛坯,表面 ϕA 的余量比 ϕB 大,所以应选用 ϕB 作初次定位基准。

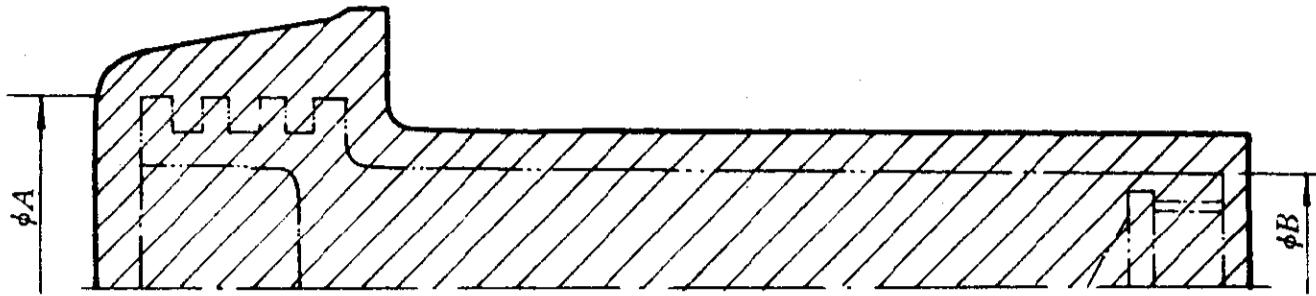


图 2-20 柱塞杆初次定位基准选择

(3) 由于初次定位基准的精度不高,加以粗加工时的切削用量大,因此要特别注意定位和夹紧的稳定和可靠。

4. 定位基准转换

在设计工艺路线时,选择定位基准不能只考虑一个工序的要求,而应该对整个加工过程中的定位基准系统进行分析。特别是航空、航天产品,因其构形复杂,位置精度要求很高,一般均不能在一次安装或只用一个定位基准来完成全部加工。因此,定位基准在整个零件的加工过程中就产生了转换问题。

定位基准转换以后,不但要影响余量的不均,从而影响表面本身精度,而且更重要的是影响位置精度的保证。因此,对这一定位基准系统,必须保证有较高的位置精度。

为了保证位置精度,一般经常采用以下四种方法:

(1) 一次安装

在一次安装的条件下,可以保证有较高的位置精度。因为在一次安装时所加工的各表面间的位置精度,主要取决于设备的精度,而与定位误差和定基误差无关。

如图 2-21 所示的零件,若以 A,G 表面定位(夹紧 A 面),加工 C,K 和 B,H 表面,则在一次安装的条件下,B 与 C 的同轴度、H 对 B 面和 K 对 C 面的垂直度、H 对 K 的平行度以及 H 与 K 面之间的距离 $L-\Delta L$ 等,均不受定位和定基误差的影响。而定位误差只能影响这一组加工表面相对于定位基准(A,G)的位置精度。因此,这种方法能保证很高的位置精度。

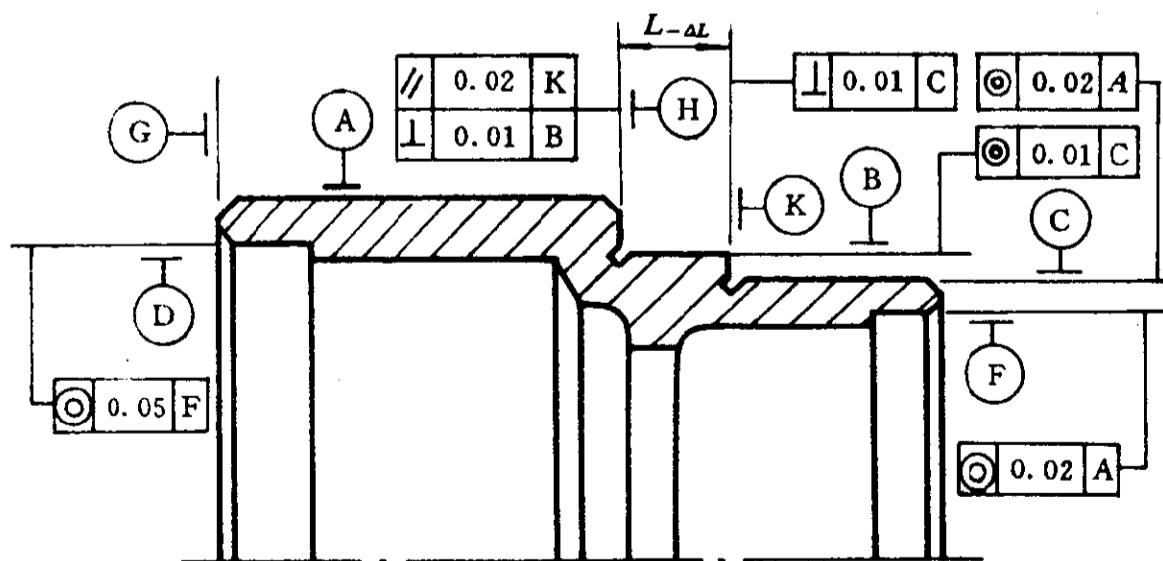


图 2-21 位置精度的保证方法

(2) 互为基准

有位置精度要求的两个表面,在加工时,用其中任何一个表面作为定位基准来加工另一个表面,用这种方法来保证位置精度的,称为互为基准法。

如在图 2-21 中,A 面和 F 面之间有同轴度的要求,若用 A 面来定位加工 F 面(或用 F 面来定位加工 A 面),这就是互为基准法加工。

由于这种方法的定位基准与原始基准重合不产生定基误差,只有一次定位误差的影响,因此,这种方法只要使定位准确,也能保证较高的位置精度。

(3) 同一基准

有位置精度要求的两个表面,在加工时都采用另一个表面作为定位基准。用这种方法来保证这两个表面间的位置精度,称为同一基准法。

如图 2-21 所示,D 和 F 面之间有同轴度的要求。若加工 D 面时用 A 面来定位,在另一个工序加工 F 面时,也采用 A 面来定位,这就称为同一基准法加工。

这种方法有定位误差和定基误差的影响。设先加工表面 D,再加工 F 面,在加工 D 面时,用 A 定位,由于定位误差以及其他加工误差造成 D 和 A 的不同心,其不同轴误差为 δ_{DA} 。当加工 F 面时,由 A 定位也有定位误差,而此时定位基准 A 和原始基准 D 不重合,D 和 A 之间的不同轴误差 δ_{DA} 就是定基误差。所以,这种方法的误差环节较多,因而只能保证一定的准确度。

但是,必须指出,当有位置精度要求的两个表面均不适宜于作定位基准、且不能在一次安装中进行加工时(如涡轮叶片的叶型和榫头),则只能采用同一基准的方法进行加工。此时,若能减小定位误差,也能达到较高的位置精度。为此,有时采用辅助定位基准,使用简单的表面定位,以减小定位误差,从而使同一基准法也能保证较高的位置精度。

(4) 不同基准

有位置精度要求的两个表面,在加工时,采用两个不同的表面作为各自的定位基准,这种方法称为不同基准法。

这种方法不但有定位误差的影响,而且有较大的定基误差的影响。因为在这种方法中,定基误差不但要包括用同一基准法时的定基误差,而且还要包括两个定位基准之间的位置公差。因此,这种方法只能保证较低的位置精度。所以,它一般只用于次要表面间位置精度的加工。

在以上四种方法中,一次安装和互为基准的方法能保证较高的位置精度。因此,定位基准的制造与转换,一般均采用这两种方法。例如,轴套的细加工和精加工工序的定位基准,就是这样选用的。其选用情况,如表 2-1 所列。

表 2-1 轴套加工时的定位基准

工序号	定位基准	加工表面
30	D1, K	F1, N, 内腔表面
35	F1, N	B1, C1, D1, K
40	F1, N	D1, K
45	D1, K	小孔
50	D1, K	内腔表面
55	D1, K	槽
60	D1, K	A1, G1, N
65	A1-G1, N	B1, C1, D1, K

由以上情况来看,在一个工序中所用的这一组定位基准之间的位置精度,均采用一次安装法来保证。在工序间要求基准转换时,均采用互为基准法来保证这两组定位基准的位置精度。

综合基准选择的分析来看,工艺基准是通过原始基准与设计基准联系的。在工艺基准中,定位和测量基准也是分别和原始基准联系的,如图 2-22 所示。

由基准关系可知,原始基准及原始尺寸系统处于工艺路线设计的重要位置。在最终工序中,四个基准重合是最理想的情况,不需要作任何尺寸计算。设计、定位和测量基准中任一个和原始基准不重合,都需进行尺寸换算。在中间工序中,也应力求原始基准与定位及测量基准重合,以避免尺寸换算。

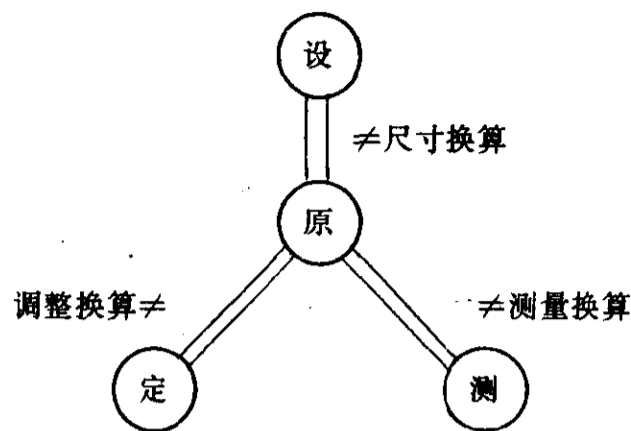


图2-22 基准关系

§ 2-6 热处理工序的安排

由于某些机械行业,特别是航空、航天产品要求重量轻、强度高,所以常采用优质材料,并普遍地需要进行热处理。热处理工序的性质,特别是热处理工序在工艺路线中的位置,对机械加工工序的内容、数目和顺序有很大的影响。因此,在设计工艺路线时,需要进行仔细的分析。

热处理的目的是以下三个:

(1) 提高材料的机械性能

提高材料的机械性能是对材料进行热处理的最主要和最常见的原因。材料在供应状态下,或在毛坯制造以后,其硬度、强度及其它机械性能一般都不能满足产品所提出的要求。为了达到零件所规定的技术要求,常采用淬火、调质或化学热处理等热处理方法。

(2) 改善材料的加工性

所谓加工性是指材料可加工的性质。金属的切削加工性一般用切削速度、切削力和加工能达到的表面粗糙度来表示。切削某种材料时的切削速度高、切削力小且表面粗糙度的 R_a 值小,则这种材料的加工性就好。在航空和航天产品中,采用高合金钢比较多,其加工性一般都比较差。尤其是不锈钢、耐热钢和耐热合金等的加工性就更差。其中镍基耐热合金的切削速度都很低,如 GH33 的最大切削速度不超过 30m/min, GH37 的最大切削速度不超过 25m/min。而某些铸造耐热合金,如 K13, K10 等甚至很难用金属切削工具来进行加工。

为改善加工性而采取的热处理种类需视材料的具体情况而定。一般采用退火或正火等使硬度降低、组织均匀。在加工韧性较大的材料时,则用热处理来提高其硬度,以改善其加工性。如铝合金采用淬火-时效的方法来提高其硬度,以便改善其加工性,从而获得较好的表面质量。

(3) 消除内应力

在毛坯制造和机械加工的过程中,工件要产生内应力(是在没有外界负荷的情况下,存在于材料内部的应力),当内应力的平衡条件遭到破坏时,内应力就要重新分布,使工件变形,从而影响加工精度。因此,在加工时,对于刚性差、精度要求高的工件,常安排消除内应力的热处理工序。这类热处理有退火、正火和时效等。

热处理工序的数目以及在工艺路线中的位置的安排,需视热处理的方法和目的而定。工件在热处理后,不但会使材料的性能改变,而且要产生变形并使粗糙度的 R_a 值增加。因此,要综

合各方面的因素来考虑。

现将机械加工过程中,常用的热处理方法及其在工艺路线中的位置简介如下。

(1) 退火与正火

很多钢质的重要零件,需要进行退火或正火处理。其目的是消除组织的不均匀性;对高碳合金钢,采用退火降低硬度,对低碳合金钢,采用正火以适当提高硬度,这两者的目的,均是提高加工性;同时,还可减少工件材料中的内应力。

退火或正火工序,可以放在粗加工阶段之前或以后进行。在粗加工阶段前进行,其优点是可使粗加工时的加工性得到改善,并减少工件在车间之间的转换运输,便于组织生产和缩短生产周期;但其缺点是不能消除粗加工阶段所产生的内应力,而且由于毛坯余量大,热处理的时间要加长。所以应根据工件的具体情况来正确地选择热处理工序的位置。

(2) 调质

调质是淬火后进行高温回火。其目的是获得组织均匀细致的回火索氏体组织。热处理后的零件不仅有一定的强度和硬度,而且还有良好的冲击韧性,综合机械性能好。热处理的位置通常安排在粗加工后进行。

(3) 淬火

钢质零件可用淬火来提高硬度,淬火后用回火来获得所需要的硬度与组织。铝质零件也可以淬火,淬火后用时效来使合金强化与提高硬度。

由于淬火的温度高,而且要进行快速冷却,所以工件可能会产生较大的变形。因此,淬火工序不能安排得过于靠后。但因淬火后,工件的硬度要提高,所以也不能过早进行。一般情况下,当硬度大于HRC 40时,用金属切削刀具进行加工就比较困难。淬火工序一般安排在粗加工阶段后或细加工阶段中进行。

(4) 渗碳

对于低碳钢或低碳合金钢的零件,当要求表面硬度高而内部韧性好的时候,常采用渗碳处理。如齿轮的齿面、轴的工作轴颈以及凸轮的工作型面等。

渗碳表面经过淬火后,表面硬度可达HRC 55~65。零件表面渗碳层的深度一般在0.6~1.2mm左右。考虑到淬火后的加工余量,在热处理时,渗碳深度应予以加大。在渗碳时,为了控制渗碳层深度的均匀性,在渗碳前对渗碳的表面应进行细加工(有时也用磨削加工),以便于控制渗碳层的深度。

在实际零件上要求全部表面进行渗碳的并不多,常遇到的是局部渗碳,因而需对不要求渗碳的表面采取保护措施。保护的方法主要有以下两种:

① 余量保护法

对不要求表面渗碳的表面,在渗碳前留有较大的余量,然后对工件进行全部渗碳,渗碳后再用机械加工的方法,将不需要渗碳表面上的渗碳层切去,再对工件进行淬火与回火处理。

② 镀铜保护法

铜层能防止碳的渗入,因此,工件在渗碳前对不需要渗碳的表面进行镀铜,然后再进行渗碳与淬火。在镀铜前,渗碳表面应涂以绝缘物(石蜡和特种光漆等),以防止镀上铜层。有时也采用对工件全部表面镀铜,而后再用机械加工的方法来切除需要渗碳表面上的铜层。若工件上有小孔、小槽等表面时,因这些表面的镀铜质量较难保证,所以在渗碳前可填以绝缘物(耐火粘土等),以进行保护。

采用余量保护法的机械加工工序较采用镀铜法的多些,车间转换的次数也多,而镀铜法有时因铜层的致密性没有很好保证,可能要产生局部硬点。因此,需视工件的具体要求来确定保护的方法。

渗碳工序一般安排在渗碳表面细加工后进行,按不同的保护方法,也可能安排在粗加工阶段中或粗加工阶段后进行。

(5) 氮化

氮化工艺可获得比渗碳、淬火更高的表面硬度和耐磨性,其抗疲劳强度及抗蚀性等也比较好。常采用氮化处理的材料有 38CrMoAlA 和 18CrNiWA 等。渗氮深度一般在 0.1~0.4mm 之间。

为了消除内应力以减少氮化变形,在氮化前应对工件进行调质处理和去应力处理。由于氮化工艺的温度不太高(480~600℃),变形较小,而且氮化层的深度小、硬度高,因此,氮化一般安排在粗磨后、精磨前进行。

其他还有很多热处理方法,如氰化、时效及冷处理等,需视零件的材料、用途及加工的要求来进行选择。

轴套零件的材料是 40CrNiMoA,要求硬度为 $HB=285\sim 321$,采用淬火后回火。由于加工余量大,零件刚性差,所以安排在粗加工阶段后进行热处理。

§ 2-7 辅助工序的安排

辅助工序的种类很多,如一般检验、特种检验、表面处理和洗涤防锈等等,这些工序的位置安排,需视工序的具体内容而定。

1. 一般检验

一般检验有终检和中间检验两种。

终检都安排在工艺过程最后进行,主要检验机加工精度及表面粗糙度等。

中间检验工序一般安排在工件需要转换车间时进行。如轴套在粗加工后要进行热处理,则在热处理前进行一次中间检验。其目的是便于分析产生质量问题的原因。另外,在重要零件的关键工序之后,也有安排中间检验工序的,其目的是便于及时控制加工情况。

2. 特种检验

特种检验的种类很多,最常见的是无损探伤。用于检验工件内部质量的探伤方法,如 X 射线、 γ 射线和超声波等,一般都安排在工艺过程开始时进行。用于检验工件表面缺陷的探伤方法有:磁力探伤、荧光探伤、涂色及腐蚀等,这些方法一般都安排在精加工阶段进行。其它特种检验,如密封性检验,为及早发现缺陷,常安排在粗加工阶段进行。至于音频检验、重量与平衡检验等,一般都应在工艺过程的最后进行。

3. 表面处理

为了提高零件的抗蚀能力,提高耐磨性、抗高温能力和导电率等,均可采用表面处理。

表面处理常采用的方法是使工件表面上涂敷上金属镀层、非金属涂层和产生氧化膜层等。

金属镀层如镀铬、镍、镉、锌、铜以及银、金、铂等。非金属涂层如油漆和陶瓷等。氧化膜层的获取方法则有钢的发蓝、铝合金的阳极化和镁合金的氧化等。

零件如要求进行上述处理,则其工序一般均安排在工艺过程的最后进行(工艺上需要时除

外,如渗碳时的镀铜保护等)。如零件某些配合表面不要求进行表面处理时,则可作局部保护或用机械加工法进行切除。

表面处理,工件表面的本身尺寸和位置尺寸的变化,一般均不大。但对于精度要求高的表面,则应考虑因表面处理而造成的尺寸变化。

§ 2-8 轴套工艺路线分析

在设计工艺路线时,首先要根据零件图、产量和生产条件来进行工艺分析,分析加工过程中的质量、生产率和经济性等问题。

在分析的基础上,就可以着手设计工艺路线。在设计工艺路线时,要考虑下述问题:

- (1) 表面加工方法的选择;
- (2) 阶段的划分;
- (3) 按集中或分散原则,组合各加工表面成为工序;
- (4) 选择工艺基准;
- (5) 安排热处理工序及辅助工序等。

由于这些问题是互相有联系的,因此不能按单个问题来考虑,而应该对这些因素进行综合分析。

现以轴套的工艺路线为例,分析如下。

轴套的精度高、刚度低。整个工艺过程划分为三个阶段。工序 5~15 是粗加工阶段,工序 30~55 是细加工阶段,工序 60 以后是精加工阶段。

毛坯采用模锻件,因内孔孔径不大,所以不能锻出通孔,余量较大。

1. 工序 5, 10, 和 15

这三个工序组成粗加工阶段。

工序 5 采用 F1 和 N 面作为初次定位基准,因为 F1 的外径较大,易于传递较大的扭矩,而且其他外圆的拔模斜度较大,不便于夹紧。若径向取 F1 定位,则轴向应选 N 面为基准,这样可使夹具简单。

工序 5 主要是加工外圆,为下一工序作好定位基准的准备,同时切除内孔的大部加工余量。

工序 10 是加工 F1 和 N 面,并加工大端内腔,这一工序的目的是切除大端的大部分余量,同时也为下一工序作定位基准的准备。

工序 15 是加工外圆,用工序 10 加工好的 F1 和 N 面作为定位基准,切除外圆表面的大部分余量。

粗加工采用三个工序,用相互作定位基准的方法,其目的是使加工余量均匀,并使加工后的表面位置比较准确,从而使细加工能够保证较高的质量。

2. 工序 20 和 25

工序 20 是中间检验。

因为下一个工序为热处理工序,需要转换车间,所以要安排一个中间检验工序。

工序 25 是热处理工序。

因为热处理后零件的硬度不高($HB=285\sim 321$),所以,若安排在粗加工阶段之后进行,不

会对细加工带来困难。同时,因为粗加工的加工余量较大,必须消除粗加工产生的内应力。所以在粗加工后安排热处理工序。

3. 工序 30,35 和 40

工序 30 的主要目的是修复基准。因为在热处理后有较大的变形,原有基准遭到破坏,又因为细加工的精度要求较高,有必要提高定位基准的精度。所以在细加工阶段一开始就需把 F1 和 N 面加工准确。

另外,在工序 30 中,还安排了内腔表面的加工。这是因为工件的刚度较差,为防止热处理工序产生较大的变形,所以细加工余量留得多一些,因此在本工序中先加工一次。

工序 35 是用修复后的定位基准,进行外圆表面的细加工,完成外锥面的最终要求,其他表面留有余量,为精加工作好准备。

工序 40 是磨削工序。其主要任务是建立辅助定位基准,提高 D1 表面的精度,为以后工序作定位基准用。

4. 工序 45,50 和 55

这三个工序是继续进行细加工。定位基准均采用 D1 和 K。这是用同一基准的方法来保证小孔和槽的相对位置精度。为了避免在细加工时产生过大的夹紧变形,所以这三个工序均采用轴向夹紧。

在安排这三个工序的顺序时,钻孔应在铣槽之前进行,因为在保证孔和槽的角向位置时,用孔作角向定位基准比较合适,可使夹具简单。

细镗内孔也应在铣槽之前加工,其原因是在镗削孔口时,可避免断续切削而改善加工条件。

至于钻孔和细镗内腔表面这两个工序顺序的安排,应相互间没有多大影响,可以任意安排。

在工序 50 和 55 中,由于工序的位置尺寸要求的精度不高,所以虽然有定基误差存在,但只要工序 40 中提高凸缘厚度尺寸的精度,就可以将定基误差值控制在一定的范围内,这样,加工就不会产生困难。

5. 工序 60 和 65

这两个工序属于精加工工序。

外圆与内孔的加工顺序,一般说来,采用“先孔后外圆”的方法,因为用孔定位时的夹具比较简单。

在工序 60 中,用 D1 和 K 定位。由于很难采用轴向夹紧的方式,所以为了减小夹紧变形,采用均匀夹紧 D1 的方法(液性塑料夹具)。在工序中对 A1,G1 和 N 采用一次安装加工,其目的是为了保证同轴度和垂直度。

在工序 65 中加工外圆表面时,采用 A1,G1 和 N 定位,虽然 A1 和 G1 同时作径向定位基准是过定位的形式,但由于 A1,G1 是在工序 60 中一次安装加工出来的,相互位置比较准确,不会因过定位而造成困难。这样,不但能使定位比较稳定可靠,而且能较好保证加工表面对这一基准组的精度要求。

6. 工序 70,75 和 80

工序 70 是磁力探伤。本工序主要是检验磨削的表面裂纹,一般安排在主要表面的磨削工序以后进行。

工序 75 是终检。检验工件的全部精度和其他有关的技术要求。检验合格后的工件,最后进行表面保护(工序 80,氧化)。

由以上分析可知,影响工序的内容、数目和顺序的因素是很多的,而且这些因素之间彼此互有联系,互相影响。所以在设计工艺路线时,要进行综合分析。

另外,每一个零件的加工过程,都有其特点,主要的工艺问题也各不相同。因此,要特别注意工艺分析,特别是工艺关键的分析,以便从中确定必要的工艺措施以保证质量、生产率和加工经济性。例如轴套,主要特点是薄壁件,而且精度又高,所以要特别注意变形对精度的影响。

第三章 机床工序设计

在确定工艺路线后,就可进行工序的设计。在设计工序时,需要选择设备和工艺装备,安排工步的内容和次序,同时还需要确定加工余量、工序的尺寸及其偏差,必要时,还需确定切削用量和时间定额。

§ 3-1 设备和工艺装备的选择

在设计工序时,需要具体选定所用的机床以及夹具、切削工具和量具。

1. 机床的选择

机床选择对工序的加工质量、生产率和经济性有很大的影响。为使所选择的机床能满足工序的要求,必须考虑下列因素:

- (1) 机床的工作精度和工序的加工精度相适应;
- (2) 机床工作区的尺寸应和工件的轮廓尺寸相适应;
- (3) 机床的功率与刚度和工序的性质相适应,另外,机床的加工用量范围应和工件要求的合理切削用量相适应;
- (4) 机床的生产率应和工件的生产计划相适应。

在选择机床时,应该充分注意利用现有的设备,并尽量优先选用国产机床。为扩大机床的功能,必要时可进行机床改装,以满足工序的需要。

有时在试制新产品及小批生产时,较多的选用数控机床和加工中心机床等设备,以减少工艺装备的设计和制造,这可大大缩短生产周期并提高经济性。

在设备选定后,有时尚需要根据机床负荷的情况来调整工序的内容和修改原定的工艺路线。

2. 夹具的选择

在选择机床以后,要考虑在机床上装夹工件的夹具。在选择时,一般应首先考虑采用通用夹具。在机械产品的生产中,对于那些构形十分复杂,而且加工精度要求很高的产品,为保证质量、提高劳动生产率并减轻劳动强度,常采用专用夹具。

在产量不大、产品品种经常改变的情况下,广泛采用专用夹具,这不但要加长生产周期,而且要加大产品的成本。为此,研究夹具的通用化和标准化问题,就有着十分重要的经济意义。

目前,从标准化的基础上发展起来的组合夹具,能为生产迅速提供夹具,可大大缩短生产准备周期,降低生产成本。另外,成组夹具的推广使用,可大大减少专用夹具的数量,这不但可提高生产率,而且也可大大降低生产成本。

随着科学技术的发展,夹具将向标准化、组合化、精密化和自动化方向发展。

3. 切削工具的选择

切削工具的类型、构造、尺寸和材料的选择,主要取决于工序所采用的加工方法、被加工表面的形状、尺寸和精度以及工件的材料等因素。

为提高生产率和降低成本,应充分注意切削工具的切削性能,合理地选择切削工具的材料。

在一般情况下,应尽量优先采用标准的切削工具。在按工序集中的原则组织生产时,常采用专用的复合切削工具,这不但可扩大机床的功能,而且可节省加工时间,同时,还可提高其位置精度。

4. 量具的选择

选择测量工具时,首先要考虑所要求检验的精度,以便正确地反映工件的实际加工情况。至于所选测量工具的类型,则主要取决于生产的类型。在单件和小批生产时,广泛采用通用量具。在大批和大量生产时,主要采用专用的界限量规及检验测具等。有时也采用自动检验测具以提高生产率。

§ 3-2 加工余量的确定

在确定工序尺寸时,首先要确定加工余量。正确地确定加工余量具有很大的经济意义。若毛坯的余量过大,不但要浪费材料,而且要增加机械加工的劳动量,从而使生产率下降,产品的成本增高。反之,若余量过小,一方面使毛坯制造困难,另一方面在机械加工时,也因余量过小而使安装困难,甚至因加工不出来而造成废品。

一、总加工余量和工序加工余量

为了获得零件上某一表面所要求的精度和表面粗糙度,而从毛坯这一表面上切去的全部多余的金属层,称为该表面的总加工余量。在完成一个工序时,从某一表面上所切去的金属层称为工序加工余量。

总加工余量和工序加工余量的关系为

$$Z_z = \sum_{i=1}^n Z_i$$

式中 Z_z ——总加工余量;
 Z_i ——工序加工余量;
 n ——工序数目。

在设计工艺过程时,根据各工序的性质来确定每个工序的加工余量,进而可求出各工序的尺寸。但在加工过程中,由于工序尺寸有公差,实际上每个工件所切除的余量是有变化的。因此,加工余量又有基本余量、最大余量和最小余量之分。

通常所说的加工余量,是指基本余量而言,其值等于前后工序的基本尺寸之差,如图 3-1 所示,即

$$Z_1 = |L_2 - L_1|$$

式中 Z_1 ——本工序的基本余量;
 L_1 ——本工序的工序尺寸;
 L_2 ——前工序的工序尺寸。

对于最大余量和最小余量,因加工内、外表面的不同而计算也异。

对于外表面(图 3-1(a)):

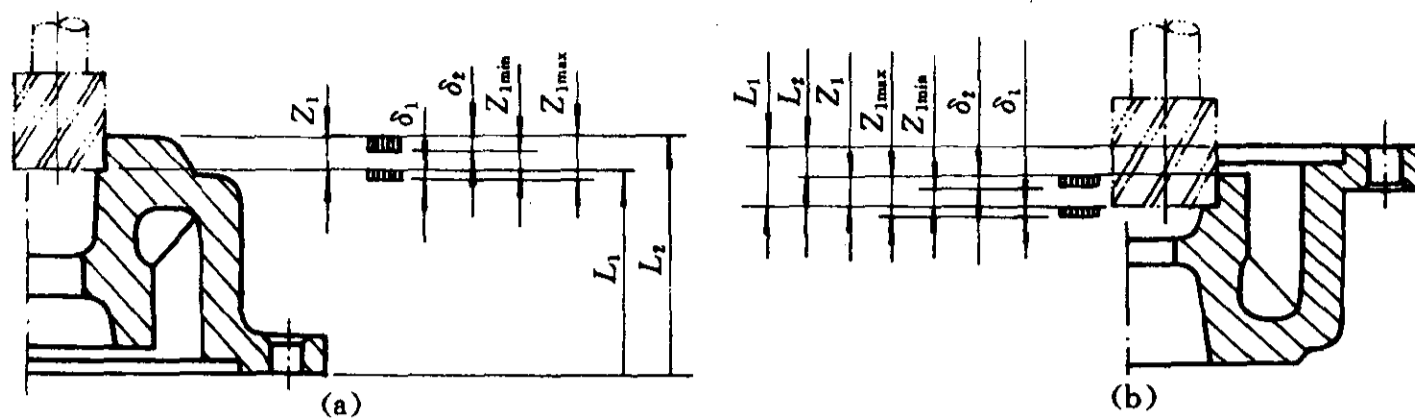


图 3-1 基本余量、最大和最小余量

$$\begin{aligned}
 Z_{1 \max} &= L_{2 \max} - L_{1 \min} = L_2 - (L_1 - \delta_1) \\
 &= (L_2 - L_1) + \delta_1 = Z_1 + \delta_1 \\
 Z_{1 \min} &= L_{2 \min} - L_{1 \max} = L_2 - \delta_2 - L_1 \\
 &= (L_2 - L_1) - \delta_2 = Z_1 - \delta_2 \\
 \delta_{Z_1} &= Z_{1 \max} - Z_{1 \min} \\
 &= \delta_1 + \delta_2
 \end{aligned}$$

对于内表面(图 3-1(b)):

$$\begin{aligned}
 Z_{1 \max} &= L_{1 \max} - L_{2 \min} = L_1 + \delta_1 - L_2 \\
 &= (L_1 - L_2) + \delta_1 = Z_1 + \delta_1 \\
 Z_{1 \min} &= L_{1 \min} - L_{2 \max} = L_1 - (L_2 + \delta_2) \\
 &= (L_1 - L_2) - \delta_2 = Z_1 - \delta_2 \\
 \delta_{Z_1} &= Z_{1 \max} - Z_{1 \min} \\
 &= \delta_1 + \delta_2
 \end{aligned}$$

式中 δ_1 ——尺寸 L_1 的公差;
 δ_2 ——尺寸 L_2 的公差;
 δ_{Z_1} ——工序基本余量 Z_1 的公差。

由以上计算说明,实际的加工余量是有变化的,其变化的范围是本工序和前工序尺寸的公差之和。

工序余量还有单面和双面之分,如对于图 3-1 中所示的平面加工来说, Z_1 是单面余量。而对于圆柱面来说(如图 3-2 所示),则有单面和双面的区别,即分别用半径差(单面)和直径差(双面)来表示。在计算和查阅手册时应注意区别。

二、影响加工余量的因素

工序加工余量的大小,应当使被加工表面经过本工序加工后,不再留有上一工序的加工痕迹和缺陷。因此,在确定加工余量时,应考虑下列几方面的因素:

1. 前工序的表面质量

在前一工序加工后,表面粗糙度的最大高度和表面缺陷层的深度(如图 3-3 所示),应在本工序加工时切除。

表面粗糙度的轮廓最大高度 R_y 和表面缺陷层深度 T 的数值和加工方法有关,据实验统

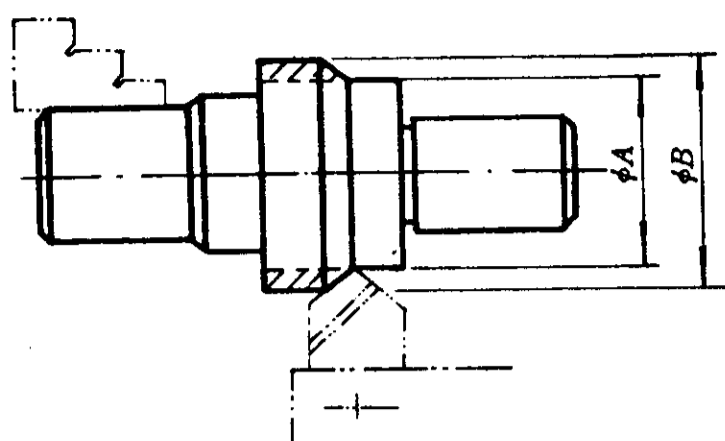


图 3-2 单面和双面加工余量

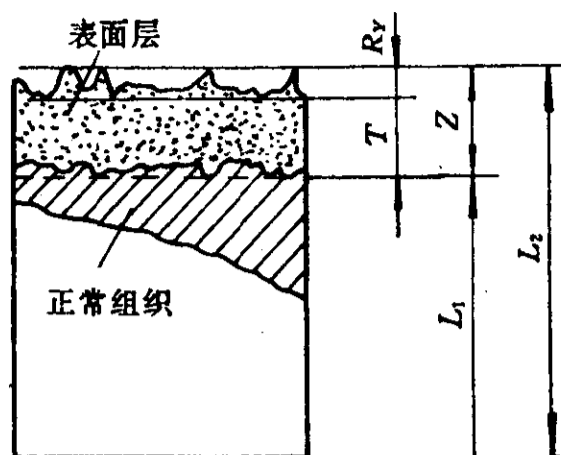


图 3-3 表面粗糙及缺陷层

计的结果,其数据如表 3-1 所列。

表 3-1 各种加工方法的 R_y 和 T 值 (μm)

加工方法	R_y	T
粗车外圆	15~100	40~60
细车外圆	5~45	30~40
粗车端面	15~225	40~60
细车端面	5~54	30~40
切断	45~225	60~70
钻孔	45~225	40~60
粗扩孔	25~225	40~60
细扩孔	25~100	30~40
粗镗	25~225	30~50
细镗	5~25	25~40
粗铰	25~100	25~30
细铰	8.5~25	10~20
磨外圆	1.7~15	15~25
磨内孔	1.7~15	20~30
磨端面	1.7~15	15~35
磨平面	1.7~15	15~25
粗铣	15~225	40~60
细铣	5~45	25~40
粗刨	15~100	40~50
细刨	5~45	25~40
粗插	25~100	50~60
细插	5~45	35~50

续表 3-1

加工方法	R_a	T
车 削	1.7~8.5	10~20
研 磨	0~1.6	3~5
抛 光	0.06~1.6	3~5
超 级 光 磨	0~0.8	0.2~0.3
*	*	*
闭 式 模 锻	110~225	500~600
冷 拉	25~100	80~100
高 精 度 辗 压	100~225	300~350

2. 前工序加工的尺寸公差

由于在前一工序加工中,加工后的表面存在着尺寸误差和形状误差(如平面度与圆柱度)等,这些误差的总和,都不超过前工序的工序公差 δ_a 。所以,当考虑一批工件时,为了纠正这些误差,本工序的加工余量中应计入 δ_a 。

3. 前工序的位置关系误差

在前工序加工后的某些位置关系误差,如同轴度等,并不包括在尺寸公差范围内,在考虑余量时,应该计入这部分误差 ρ_a , ρ_a 的数值与加工方法有关,可根据资料或作近似计算求出。

4. 本工序的安装误差

本工序的安装误差 ξ_b ,包括定位误差和夹紧误差,由于这部分误差要影响被加工表面和切削工具的相对位置,因此, ξ_b 也应计入加工余量。定位误差可以进行计算,夹紧误差可根据有关资料查阅。

以上分析的各方面因素(R_{ya} , T_a , δ_a , ρ_a 和 ξ_b),在实际中不是单独存在的,需要综合考虑, ρ_a 和 ξ_b 有方向,一般取其向量和。

对单边余量,其关系为

$$Z_b \geq \delta_a + (R_{ya} + T_a) + |\bar{\rho}_a + \bar{\xi}_b|$$

对双边余量,其关系为

$$2Z_b \geq \delta_a + 2(R_{ya} + T_a) + 2|\bar{\rho}_a + \bar{\xi}_b|$$

式中 下标 a ——代表前工序;

下标 b ——代表本工序;

Z_b ——本工序的加工余量。

上述公式有助于分析余量的影响因素,在具体使用时,应结合加工方法本身的特点进行分析。如用浮动铰刀铰孔时,一般只考虑前工序的尺寸公差和表面质量的影响。在超精研磨及抛光时,一般只需考虑前工序表面质量的影响。

此外,在加工过程中,还有其他因素的影响,如热处理引起的变形等。由于现场具体情况复杂,影响因素多,目前尚难以用计算法来确定余量的大小。在生产过程中,一般均按规格资料的统计数据来确定(见附录四)。在某些情况下,也可按生产实践的经验来确定。

§ 3-3 工序尺寸的确定

在一般情况下,加工某表面的最终工序尺寸及公差可直接按零件图的要求来确定。而中间工序的尺寸则是根据零件图的尺寸(最终工序尺寸),加上或减去工序的加工余量而得,即采用“由后往前推”的方法,由零件图的尺寸,一直推算到毛坯尺寸。

图 3-4 所示为加工外表面时各工序尺寸之间的关系。其中 L_1 为最终工序尺寸, L_5 为毛坯尺寸, L_2, L_3 和 L_4 为中间工序尺寸。

由图 3-4 可知,对于外表面,本工序的尺寸再加上本工序的余量,即为前一个工序的尺寸,如:

$$L_2 = L_1 + Z_1$$

$$L_3 = L_2 + Z_2 = L_1 + Z_1 + Z_2$$

$$L_4 = L_3 + Z_3 = L_1 + Z_1 + Z_2 + Z_3$$

$$L_5 = L_4 + Z_4 = L_1 + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$$

由此可知,若某表面经过 $n-1$ 次加工,则其工序尺寸为

$$\begin{aligned} L_n &= L_{n-1} \pm Z_{n-1} \\ &= L_1 \pm \sum_{i=1}^{n-1} Z_i \quad (n > 1) \end{aligned}$$

由上可知,确定了加工余量后,即可根据设计尺寸推算出各工序尺寸。应该注意内表面和外表面的区别(外表面取加余量,内表面取减余量),同时,也应注意单面余量和双面余量问题。

关于工序尺寸的公差,可根据加工方法来确定。通常最终工序尺寸的公差,一般都取零件图上设计尺寸所规定的公差。而所有在此以前的各个中间工序的公差,均可按该加工方法的经济加工精度(见附录二)来选定。

正确地选定工序公差有着重要意义。工序公差如果规定过小,就要采用准确的加工方法,从而影响经济性。如果公差规定得过大,则由于本工序的公差大小会影响以后加工工序的余量变化,这样就会影响以后工序的加工精度和加工时间。

在确定工序公差后,有时还要根据其它一些影响因素来作某些修正。如对于用作定位基准的表面,在工艺过程开始阶段就要求加工得比较准确,以保证工件有较高的定位精度。又如对某些要求进行表面处理(如渗碳、渗氮和氰化等)的工件,在确定这些表面的工序公差时,应与所规定的深度变化范围相适应。

工序单上的工序尺寸公差,习惯上按“入体”的方向标注。即对于外表面尺寸,注成单向负偏差,对于内表面尺寸,注成单向正偏差。

上述确定工序尺寸及公差的方法,适用于一般简单的工序尺寸,当某些位置尺寸,因在多次加工时转换了原始基准,则需按有关的尺寸链来确定。

图 3-5 所示为零件的部分要求(图 3-5(a))和有关的工序简图(图 3-5(b))。

工序 80 中的工序尺寸 L_1 和工序 75 中的工序尺寸 L_2 ,以及它们的公差,因为是最终工序,所以均可直接取自零件图,即

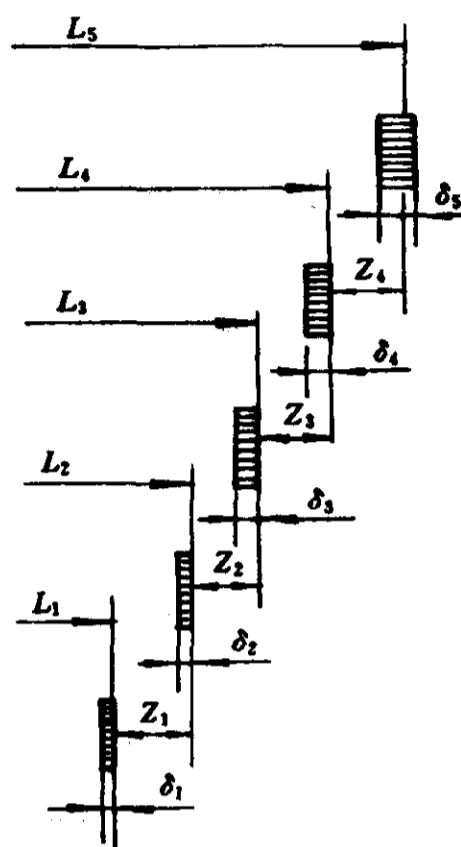


图 3-4 工序尺寸的确定

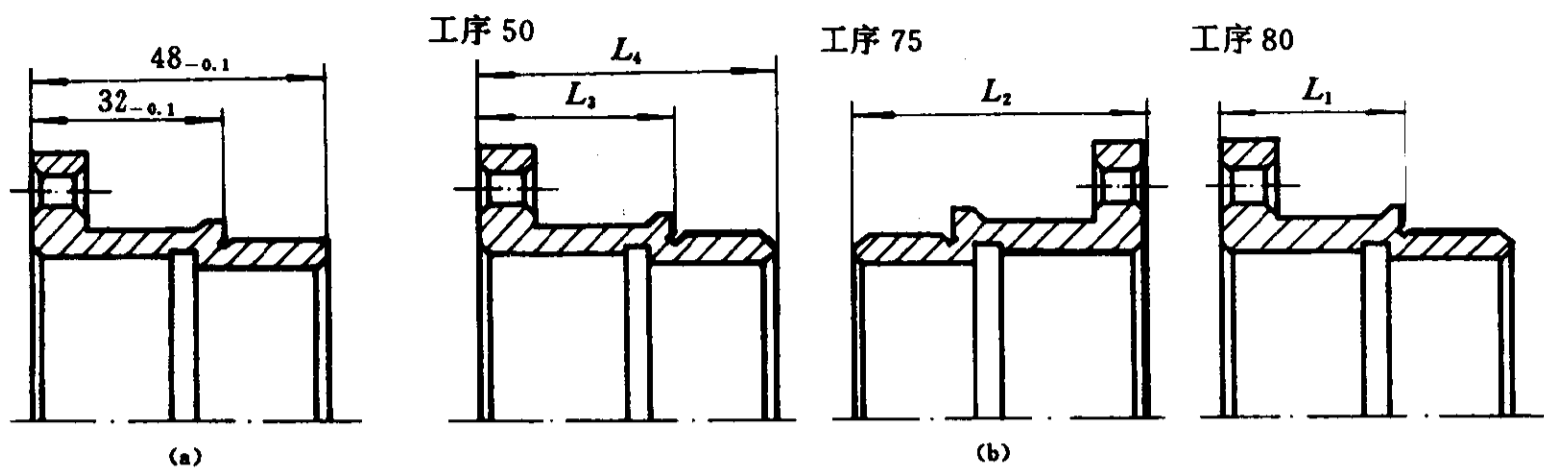


图 3-5 工序尺寸公差及余量的确定

$$L_1 = 32_{-0.1}$$

$$L_2 = 48_{-0.1}$$

根据规格,确定加工余量 Z_1 和 Z_2 分别为 0.2 和 0.3mm。工序 50 中的工序尺寸 L_3 和 L_4 的公差按加工方法的经济精度(细车、按 IT10)查得,分别为 0.10 和 0.10mm。

因此,尺寸 L_4 (见图 3-6(a))为

$$L_4 = L_2 + Z_2 = 48 + 0.3 = 48.3$$

关于尺寸 L_3 ,因为其原始基准还要在工序 75 中加工,因此, L_3 不能只考虑 L_1 和 Z_1 来进行计算,需按有关的尺寸链来确定。其尺寸链如图 3-6(b))所示。

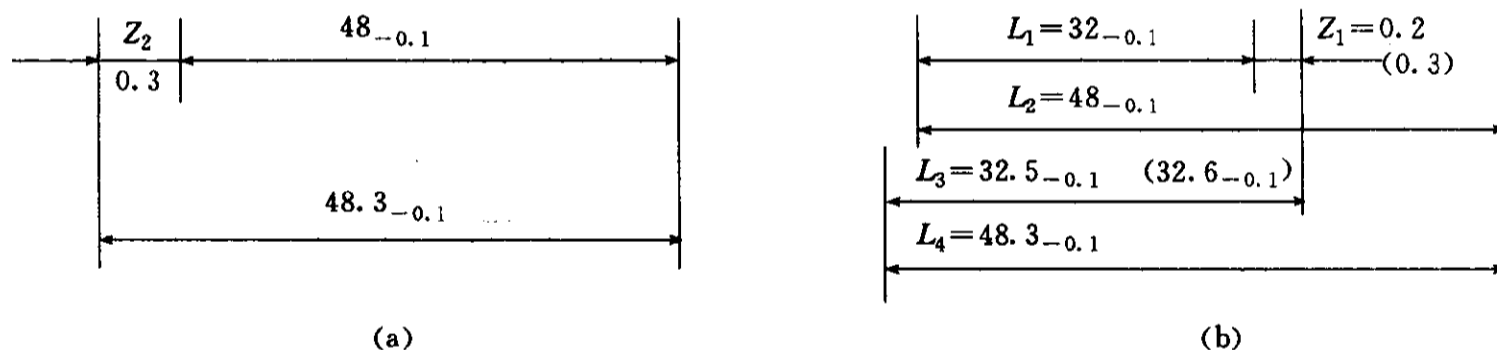


图 3-6 确定工序尺寸的尺寸链

根据尺寸链得:

$$Z_1 = L_2 + L_3 - (L_1 + L_4)$$

∴

$$\begin{aligned} L_3 &= L_1 + L_4 - L_2 + Z_1 \\ &= 32 + 48.3 - 48 + 0.2 \\ &= 32.5 \end{aligned}$$

由以上计算,所以取:

$$L_3 = 32.5 - 0.1$$

$$L_4 = 48.3 - 0.1$$

由于工序尺寸的公差会影响加工余量的变化,因此,在设计工序尺寸时,对加工余量较小的精加工工序(尤其是磨削工序)的余量,需要检查余量是否足够或过大。例如:

Z_2 : 加工余量为 0.3mm,其变化范围为:

$$\Delta Z_{2s} = 0 - (-0.1) = 0.1$$

$$\Delta Z_{2x} = -0.1 - 0 = -0.1$$

因此

$$Z_2 = 0.3 \pm 0.1$$

Z_1 : 加工余量为 0.2mm, 其变化范围为:

$$\Delta Z_{1s} = 0 + 0 - (-0.1) - (-0.1) = 0.2$$

$$\Delta Z_{1x} = -0.1 - 0.1 - 0 - 0 = -0.2$$

因此

$$Z_1 = 0.2 \pm 0.2$$

从余量的变化情况来看, Z_2 的最大、最小值比较合适, 加工时不会有困难。而 Z_1 的最小余量值是零。当采用自动获得精度的方法时, 就必须进行调整。

调整的方法有二:

(1) 缩小有关工序的公差

缩小尺寸公差, 可以控制余量的变化, 当尺寸的公差较大时, 这种方法是可行的。当工序的公差小时, 再缩小公差就会使加工困难。

(2) 加大基本余量

这种方法的优点是无需提高加工精度, 但其缺点是加大了最大加工余量值。

在上例中, 若将 L_1, L_2, L_3, L_4 的公差全部缩小一半, 即每个尺寸的公差均取 0.05mm, 则

$$Z_1 = 0.2 \pm 0.1$$

这样, 虽然留有 0.1mm 的最小余量, 但对细车工序的 L_3, L_4 来说, 就比较困难些。若取 Z_1 为 0.3, 则

$$Z_1 = 0.3 \pm 0.2$$

这对加工来讲, 就比较有利。为此, 尺寸 L_3 相应地改为

$$L_3 = 32.6_{-0.1}$$

当采用试削法加工时, 若产生最小余量不够的情况, 有时可利用本工序的公差范围作为加工余量。如上例中, 当工序尺寸 L_2, L_3 做成最小、 L_4 做成最大时, 则在工序 80 中, 加工余量即为零值, 若将 L_1 作成 31.9mm, 就有 0.1mm (L_1 的公差值) 可作余量。这种方法一般叫作“借公差作余量”。但必须注意, 只有在本工序公差较大的情况下才有意义。

在制造过程中, 超精加工和光整加工, 也常采用“借公差作余量”的方法。

在确定工序尺寸时, 还应注意工序尺寸的尾数标准化问题, 以便减少某些量具和定尺寸刀具的数目。

§ 3-4 工艺尺寸换算

由于机械产品的工艺过程复杂, 因此, 工艺尺寸换算在工艺过程设计中占有重要的地位。

从一组基准转换到另一组基准, 就形成两组互有联系的尺寸和公差系统。工艺尺寸换算就是以适宜于制造的工艺尺寸系统去保证零件图上的设计尺寸系统, 即保证零件图所规定的尺寸和公差。

因此, 尺寸换算主要是在基准转换过程中由于基准不重合而引起的, 在设计工艺过程时, 主要有以下几种形式的换算。

一、原始基准与设计基准不重合

在最终工序中, 由于原始基准和设计基准不重合, 工序的尺寸和公差, 就无法直接取用零

件图上的尺寸和公差,必须进行工艺尺寸换算。

图 2-8 所示的压气机盘,其具体尺寸及公差如图 3-7(a)所示,图 3-7(b)为加工外型面的最终工序简图,图 3-7(c)为有关尺寸链。

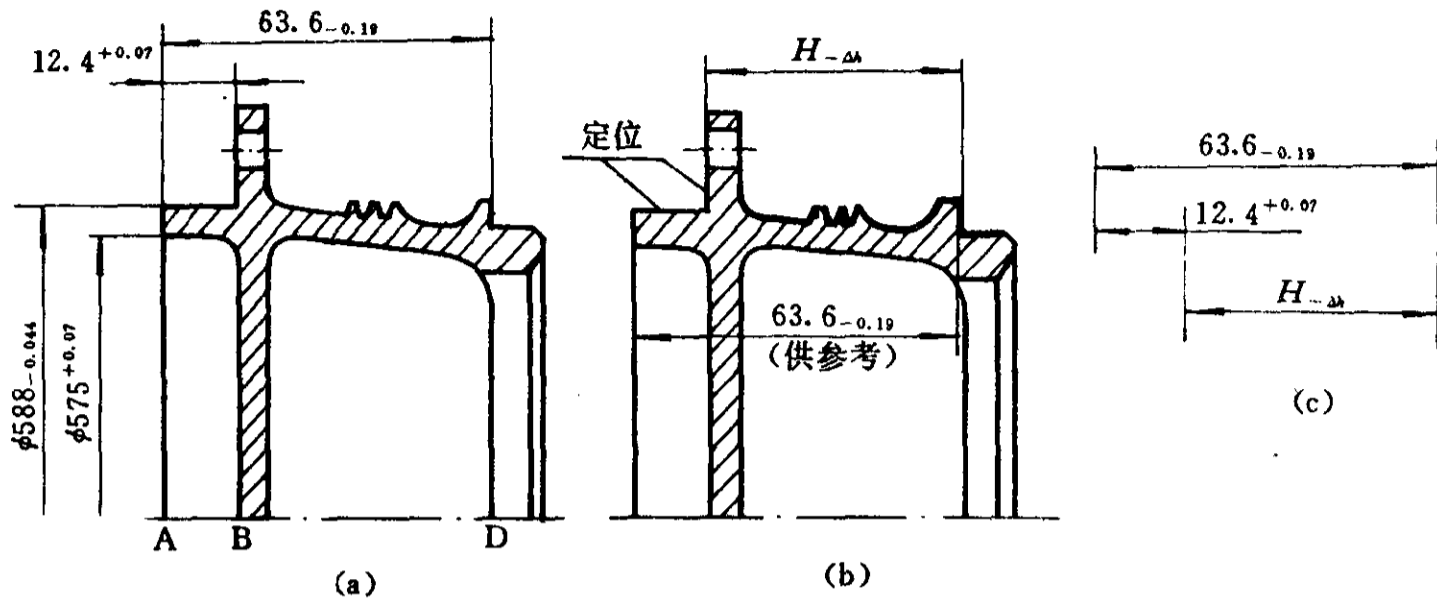


图 3-7 原始基准与设计基准不重合时的尺寸换算

在加工端面 D 时,其设计基准为 A,因原始基准选在 B 面,因此,尺寸 $H_{-\Delta}$ 必须通过换算后求出。

尺寸链的封闭环为设计尺寸 $63.6_{-0.19}$, 尺寸 $12.4^{+0.07}$ (已加工完毕) 和 $H_{-\Delta}$ 均为增环,由尺寸链方程得:

$$\begin{aligned} 63.6 &= H_1 + 12.4 \\ 0 &= \Delta h_{1z} + 0.07 \\ -0.19 &= \Delta h_{1z} + 0 \end{aligned}$$

解之得:

$$\begin{aligned} H_1 &= 51.2 \\ \Delta h_{1z} &= -0.07 \\ \Delta h_{1z'} &= -0.19 \end{aligned}$$

所以得:

$$H_{-\Delta} = 51.13_{-0.12}$$

由于在尺寸换算后要压缩公差,当本工序经压缩后的公差较小时,则有可能产生废品,所以最好将原设计尺寸作为“参考”尺寸一同标注在工序图上。如图 3-7(b)所示。

在上例中,若 $H_{-\Delta}$ 作成 50.94,按工序尺寸检验需要报废。若 $12.4^{+0.07}$ 作成上限而是 12.47 时,则此长度尺寸 F 为

$$F = 50.94 + 12.47 = 63.41$$

故仍能保证 $63.6_{-0.19}$ 这一设计尺寸的要求。所以当工序尺寸超差值小于公差的压缩值时,有可能仍是合格品。因此,在这种情况下,需要进行复验,以防止出现“假废品”。

二、定位基准与原始基准不重合

在自动获得精度的情况下,定位基准和原始基准不重合,要产生定基误差。为便于夹具的

设计与调整,就需要进行工艺尺寸换算,将定位基准到加工面之间的尺寸及精度计算出来。

如图 3-8 所示,图(a)为零件的部分要求,图(b)为加工槽的工序简图。

在加工槽之前,A,C 表面间的尺寸 $48_{-0.1}$ 已加工完毕。在槽的加工工序中,定位基准为表面 C,现需要计算定位基准 C 到加工面 B 之间的距离尺寸 $H_{-\Delta}$,根据尺寸链方程的计算后得:

$$H_{-\Delta} = 37.9_{-0.12}$$

将上述尺寸注在工序图上,并在括号内注明“供参考”。因为该工序的原始尺寸是 $10^{+0.22}$,加工后需要检验,而尺寸 $37.9_{-0.12}$ 则只是供夹具设计和调整机床时使用。

该工序的原始基准选择表面 A,而不选择表面 C 的原因是:表面 A 是设计基准,而且也便于测量。若原始基准选择 C 面,则原始尺寸该是 $37.9_{-0.12}$,工序公差压缩了 0.1。此时,若原始尺寸 $37.9_{-0.12}$ 超差值不超过 0.1 时,仍需进行复验。因此,原始基准应该选择在表面 A 上。

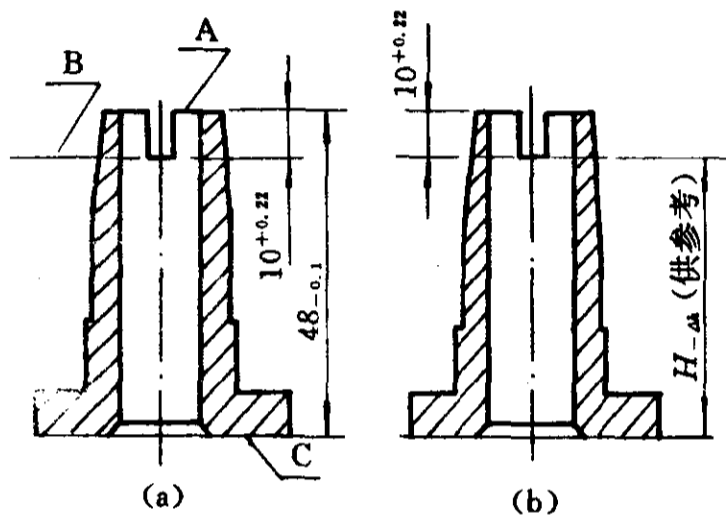


图 3-8 定位基准与原始基准不重合时的尺寸换算

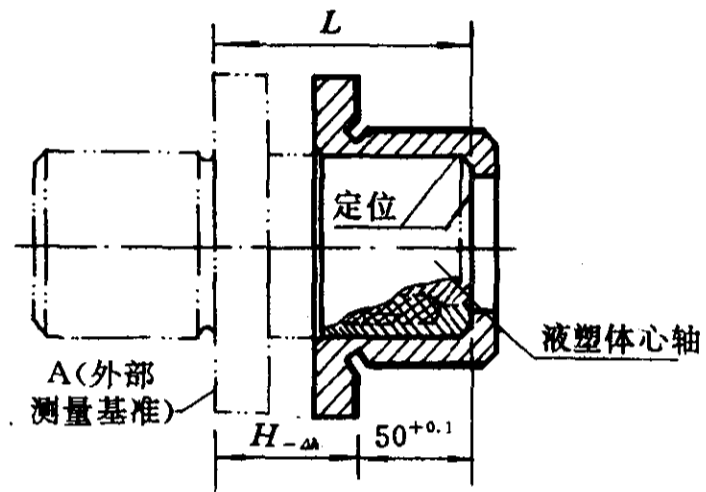


图 3-9 外部测量基准

三、间接测量

当工序的原始尺寸进行直接测量有困难时,一般常采用间接测量的方法来进行检验。此时需进行测量换算。

建立一个外部测量基准(即测量基准不在工件的表面上),是一种较常见的间接测量方法。

如图 3-9 所示,工件安装在液塑体心轴上,磨削加工轴承套的外圆及端面,要求保持工序尺寸 $50^{+0.1}$ 。显然,若没有专用测具,要对该尺寸进行直接测量就比较困难。

为了便于调整和检测尺寸 $50^{+0.1}$,在夹具上建立一个表面 A 作为外部测量基准。夹具上尺寸 L 做得较准确,通过测量 $H_{-\Delta}$ 来保证工序尺寸 $50^{+0.1}$ 的要求,在工序图上标注 $H_{-\Delta}$ 作为工序尺寸。 $50^{+0.1}$ 这个尺寸不予测量。

确定 $H_{-\Delta}$ 这个尺寸的数值与公差的方法如下:

(1) 当使用一个夹具时,则尺寸 L 是一个定值,因此有:

$$H = L - 50$$

$$\Delta h = 0.1$$

这种方法可以保证原公差值不变,但需注意尺寸 $H_{-\Delta}$ 应在夹具尺寸制造完成后,再具体确定。

(2) 当使用多个夹具时,则该尺寸 L 就不是一个定值,此时,在制造夹具时,尺寸 L 就要求制造得比较准确(一般只有几个 μm 的误差)。因此,在计算时可忽略 L 尺寸的制造误差,仍可

按原公差值进行标注。

除了建立外部测量基准的方法以外,在工艺上还有很多其它间接测量的方法,如螺纹的中径、燕尾形以及枞树形榫槽的槽宽等,一般均采用滚棒(或滚针)进行间接测量。这些滚棒的制造精度极高,因此,其制造误差在计算时也常忽略不计。

综上所述,在间接测量时,测量基准和原始基准之间一般只相差一个定值(或极准确的尺寸值),因此在尺寸换算时,只进行基本尺寸的换算,公差值保持不变。

四、多尺寸保证

在设计工艺过程时,往往由于制造上的原因而不能按设计尺寸系统进行加工。当加工一个表面时,会出现要求同时保证几个设计尺寸的情况,这就造成了多尺寸保证问题。

如图 3-10 所示的轴套零件,图(a)为零件图的部分要求,图(b)为加工端面 N 和内孔的磨削工序图。

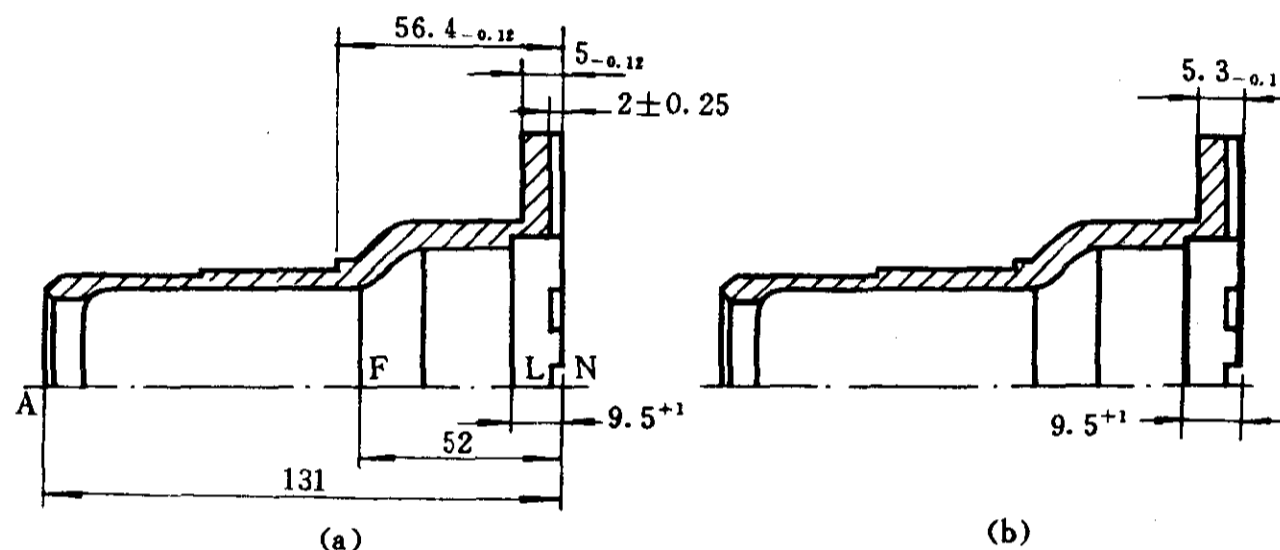


图 3-10 多尺寸保证

在轴套零件上,与 N 面相联系的尺寸有六个。即 $56.4_{-0.12}$, $5_{-0.12}$, $2_{\pm 0.25}$, 9.5^{+1} , 52 和 131。由于 N 面要求较高,要进行磨削加工,所以安排在精加工阶段,与 N 面由尺寸 $56.4_{-0.12}$, $5_{-0.12}$, 9.5^{+1} 相联系的三个表面也要求精加工,所以可安排在 N 面加工后进行加工,因此这三个尺寸可直接保证。而与 N 面有尺寸联系的另外三个表面(表面 A, F, L),则在细加工阶段已加工完毕。因此,在端面 N 进行磨削加工时,就要求间接保证尺寸 $2_{\pm 0.25}$, 52, 131。这就是多尺寸保证的情况。

在加工过程中,多尺寸保证的表现形式一般有下列几种:

1. 主设计基准最后加工

由于零件图上往往有很多尺寸与主设计基准联系,而主设计基准本身的精度要求又比较高,所以一般都要进行精加工,而其它非主要表面则常在细加工阶段已加工完毕,所以经常产生多尺寸保证问题。

如图 3-11 所示,图(a)为某衬套零件的部分尺寸要求,图(b)为最后几个有关的加工工序,图(c)为小孔的有关尺寸链。

该衬套的轴向主设计基准为 B 面,与之相联系的尺寸有 $9_{-0.09}$, $10_{\pm 0.18}$, $32_{-0.062}$ 三个尺寸,其中 $9_{-0.09}$ 和 $32_{-0.062}$ 在工序 80 中直接保证。而小孔则在细加工阶段中已加工完毕,因此,

零件图上 18 ± 0.18 的设计尺寸是间接保证的。所以, 钻孔时的工序尺寸 $H \pm \Delta h$ 需要进行尺寸换算。

据尺寸链方程(见图 3-11(c)), 有

$$\begin{aligned} 10 &= H + 9.2 - 9 \\ 0.18 &= \Delta h_x + 0 - (-0.09) \\ -0.18 &= \Delta h_x + (-0.09) - 0 \end{aligned}$$

∴

$$\begin{aligned} H &= 10 - 9.2 + 9 = 9.8 \\ \Delta h_x &= 0.18 - 0.09 = 0.09 \\ \Delta h_x &= -0.18 + 0.09 = -0.09 \end{aligned}$$

即

$$H \pm \Delta h = 9.8 \pm 0.09$$

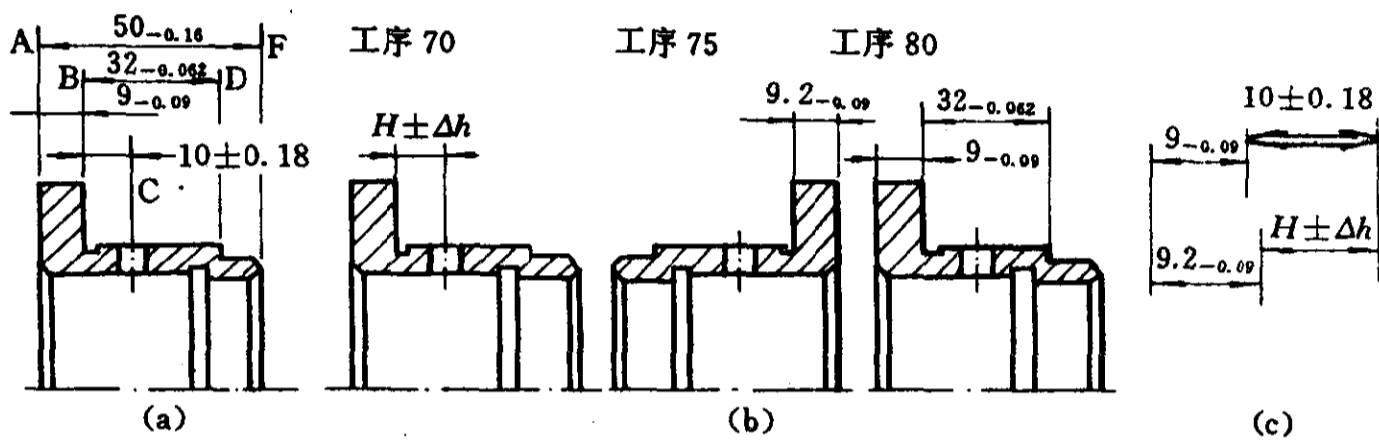


图 3-11 主设计基准最后加工时的多尺寸保证

2. 表面处理层

表面处理, 如渗碳、渗氮、氰化以及电镀等, 由于要同时保持表面的尺寸及处理层深度(或厚度), 所以也是多尺寸保证的一种形式。

如图 3-12 所示为一偏心轴零件, 表面 A 要求渗碳, 深度为 $0.5 \sim 0.8 \text{mm}$ 。零件最后要求为 $\phi 38_{-0.016}$, 渗碳前的尺寸已加到 $\phi 38.4_{-0.1}$, 由于在最后磨削表面 A 时, 既要直接保证 $\phi 38_{-0.016}$, 而且还要间接保证渗碳层深度 $0.5^{+0.3}$ 的要求, 所以要进行渗入深度的计算。

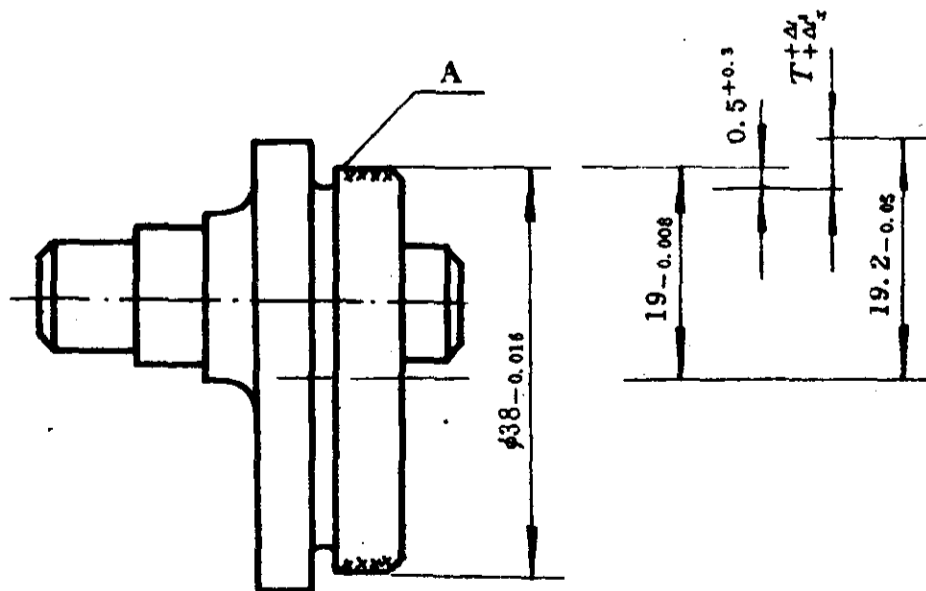


图 3-12 渗碳层深度的计算

由于渗碳层深度 $0.5^{+0.3}$ 是单面的, 所以将直径尺寸及偏差改换成半径尺寸及偏差。由尺寸链方程有:

$$\begin{aligned} 0.5 &= 19 + T - 19.2 \\ 0.3 &= \Delta t_s + 0 - (-0.05) \\ 0 &= -0.008 + \Delta t_x - 0 \end{aligned}$$

∴

$$\begin{aligned} T &= 0.5 + 19.2 - 19 = 0.7 \\ \Delta t_s &= 0.3 - 0.05 = 0.25 \\ \Delta t_x &= 0 + 0.008 = 0.008 \end{aligned}$$

即

$$T_{+\Delta t_s}^{+\Delta t_x} = 0.7_{+0.008}^{+0.25}$$

所以, 要求热处理车间保证渗碳深度在 $0.708 \sim 0.95\text{mm}$ 的范围内。

关于表面镀层厚度的换算, 一般是通过规定镀前和镀后的加工尺寸来控制的。如图 3-13 所示为某涡轮轴承座零件, ϕF 要求镀银, 镀层厚度规定为 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$, ϕF 的最终尺寸为 $\phi 63^{+0.03}$, 为间接保证 $0.2^{+0.1}$, 就必须控制镀前的加工尺寸, 因此, 就需要进行尺寸换算来确定。

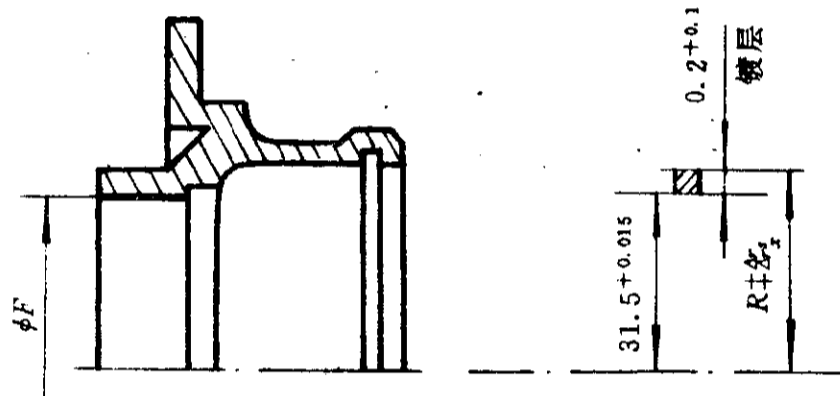


图 3-13 镀层厚度的尺寸换算

由于镀层是单面的, 因此, 也需将尺寸先改换成半径上的。由尺寸链方程有:

$$\begin{aligned} 0.2 &= R - 31.5 \\ 0.1 &= \Delta r_s - 0 \\ 0 &= \Delta r_x - 0.015 \end{aligned}$$

∴

$$\begin{aligned} R &= 31.5 + 0.2 = 31.7 \\ \Delta r_s &= 0.1 \\ \Delta r_x &= 0.015 \end{aligned}$$

转换成直径以后得:

$$\phi F_{+\Delta r_s}^{+\Delta r_x} = 63.4_{+0.03}^{+0.2}$$

改成单向(入体)偏差后为: $\phi 63.43^{+0.17}$ 。

3. 余量校核

工序余量按规格资料选定后, 因有关工序的尺寸偏差要影响余量的变化, 因此, 有时就需要对某些余量进行校核, 特别是精加工工序的加工余量, 一般均需进行校核。

另外, 加工过程中被切除的余量, 是在直接保证工序尺寸时, 同时被间接获得的。余量作为

尺寸链中的“一环”，也是多尺寸保证的一种形式，需要通过有关尺寸链的换算来校核其大小。

如图 3-14 所示是某轴承套的几个工序加工简图。

余量是间接保证的，是封闭环。工序尺寸 $23^{+0.1}$ 的余量 Z_1 为：

$$Z_1 = 23 + 3.4 - 26$$

$$\Delta Z_{1s} = +0.1 + 0 - 0$$

$$\Delta Z_{1x} = -0.2 + 0 - 0.1$$

∴

$$Z_1 = 0.4$$

$$\Delta Z_{1s} = +0.1$$

$$\Delta Z_{1x} = -0.3$$

即

$$Z_{1+\Delta Z_{1s}} = 0.4^{+0.1}_{-0.3}$$

余量的变化范围为 0.1~0.5mm。

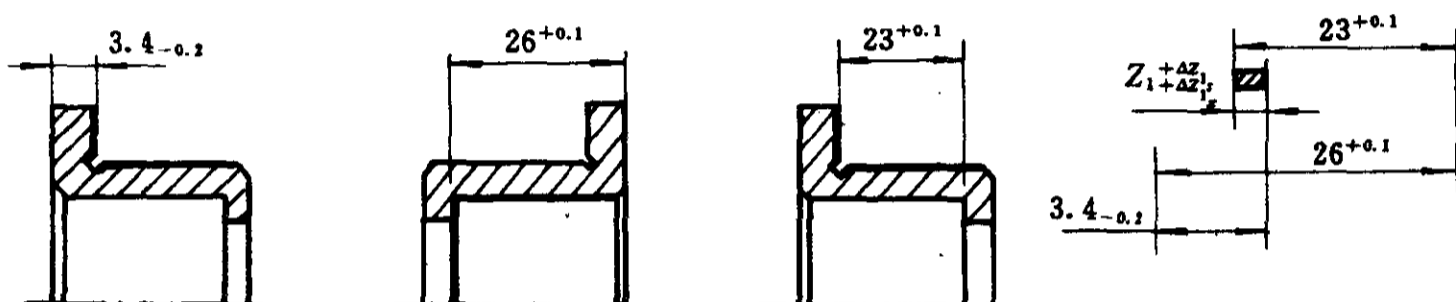


图 3-14 余量校核的换算

§ 3-5 尺寸图表

在确定工艺过程的工序尺寸时，一般采用“由后向前推”的办法。先按零件图的要求，确定最终工序的尺寸及公差，再按选定的余量确定以前工序的尺寸，其公差则一般按本工序加工方法的经济精度来确定。但对于位置尺寸关系比较复杂的零件，由于基准转换及其他工艺原因而尺寸要作工艺换算，因而确定工序尺寸及公差就比较复杂。尤其是中间工序原始基准的选择对有关工序尺寸及公差的影响，以及对余量变化的影响等，就更为复杂，分析也很困难。为此，采用“尺寸图表”法来分析与计算其位置尺寸及公差。

在工艺路线初步确定以后，就可用图表法来确定工序的尺寸及公差。下面以衬套为例，来介绍尺寸图表法。图 3-15 为衬套的工艺路线。

一、尺寸图表的建立

建立尺寸图表的步骤如下：

1. 画出零件的轴向剖面简图(图 3-16)。从图中各轴向表面引出表面线，并按顺序将各表面编号，如图 3-16 中的 A, B, C, D 等。
2. 在简图上部画出这些表面的设计尺寸，对这些设计尺寸编号，并作设计尺寸表，在表中包括：设计尺寸号、基本尺寸、偏差以及工艺组成环(增/减)，如图 3-16 所示。
3. 根据工艺路线，在简图两旁列表。工序号、工序名称、加工面列于表面引出线左边。工序

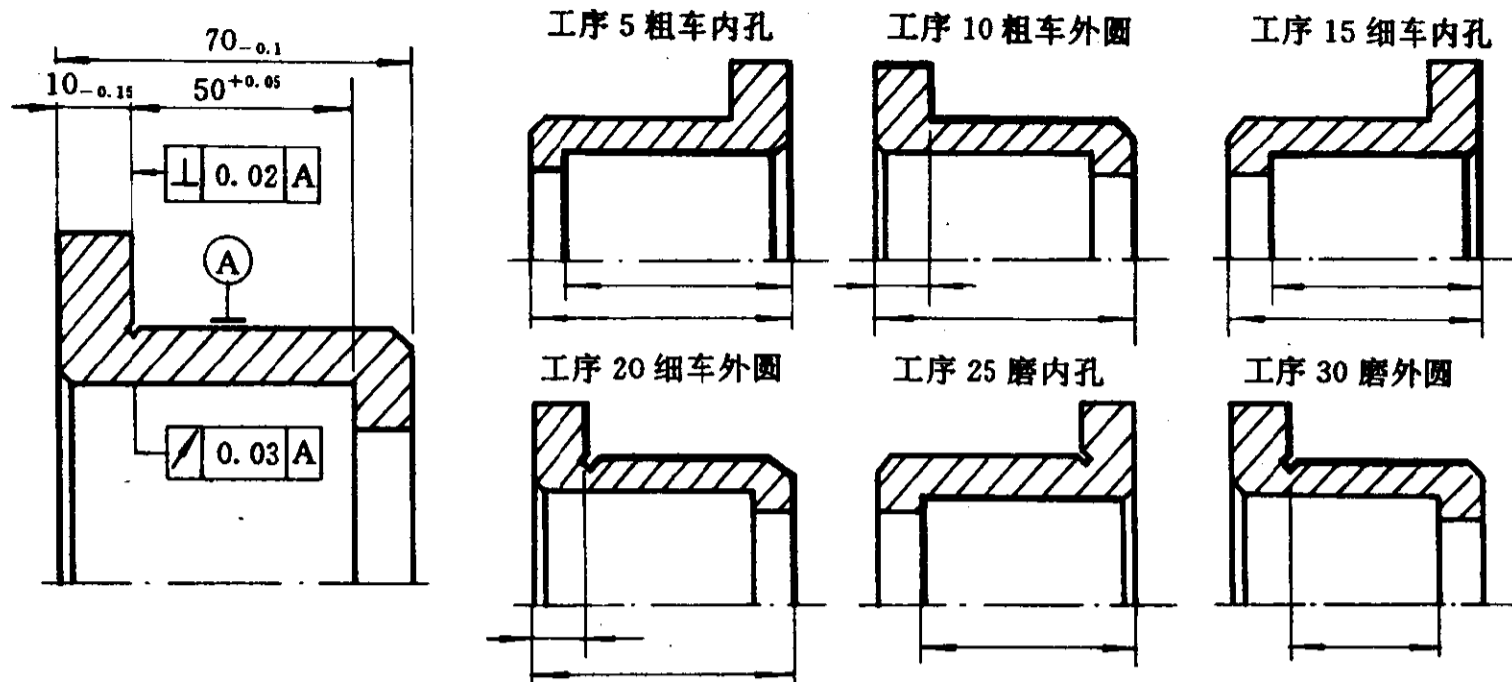


图 3-15 衬套的工艺路线

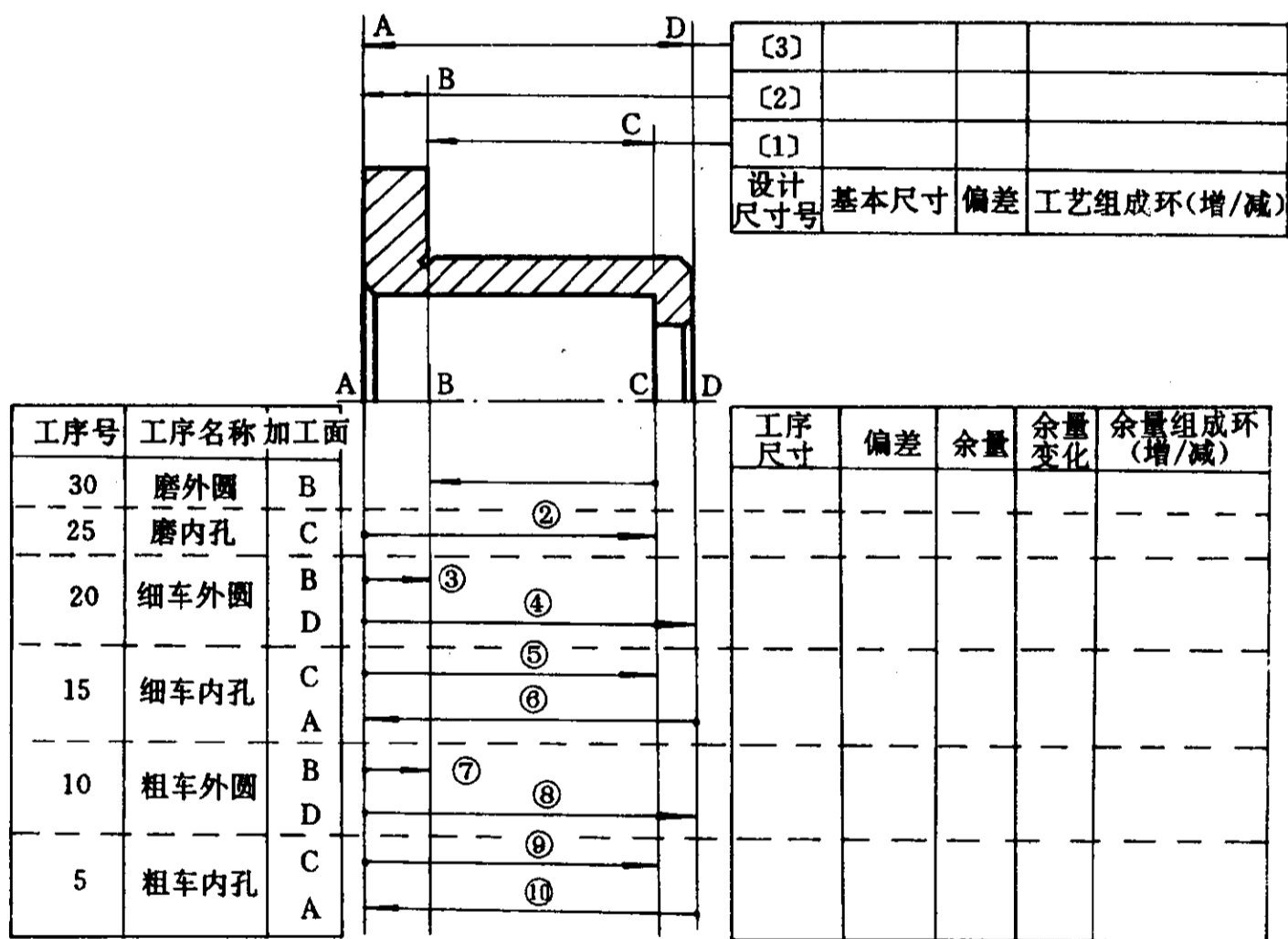


图 3-16 尺寸图表的建立

尺寸、偏差、余量、余量变化、余量尺寸链的组成环(增/减)列于表面引出线的右边。

工序号依次由后往前排列,最后一个工序排放在最上面,第一个工序排放在最下面,即后加工放在上面。在一个工序中,如有几个表面要加工时,也是按后加工的放在上面的顺序来排列。

4. 按工艺路线中所选用的原始基准,画出被加工表面的工序尺寸线。在原始基准处画一个圆点,在被加工表面处画一箭头。并对尺寸编号,最上面一个编号为①,顺次往下编号

②、③等。

为使图表清晰简洁,表面引出线不标出余量线,亦即同一表面在前后不同工序中加工时,其工序尺寸的箭头是指向同一处的。如工序 30 中的尺寸①和工序 20 中的尺寸③,以及工序 20 中的尺寸④和工序 10 中的尺寸⑧等。

二、尺寸图表的计算

在尺寸图表建立后,其计算的方法和步骤如下:

1. 设计尺寸表的填写

按零件图的要求,在设计尺寸表中填上基本尺寸值及偏差值。然后填上设计尺寸的工艺组成环(增/减),即与保证设计尺寸直接有关的工序尺寸。

(1) 确定工艺组成环的方法

确定各设计尺寸的工艺组成环的方法是:从设计尺寸两端按表面线向下作引伸线,在进入工艺尺寸区后,遇到箭头则引伸线就顺此工序尺寸线转弯,遇到原始基准点则继续向下引伸,直到两端的引伸线在同一原始基准点会合时为止。其中引伸线所经过的工序尺寸线,即为该设计尺寸的工艺组成环。

如图 3-17 所示,[1]号设计尺寸 $50^{+0.05}$ 由 B,C 两表面线向下作引伸线,在进入工艺尺寸区后,在 B 面遇①尺寸的箭头转弯,与 C 面的引伸线会合于①尺寸的原始基准点上,所以[1]号设计尺寸的工艺组成环是①。

[2]号设计尺寸 $10_{-0.15}$ 由表面线 A,B 向下作引伸线,在进入工艺尺寸区后,B 面上的引伸线遇到工序尺寸①的箭头,转弯至工序尺寸①的原始基准点,即沿 C 表面线向下,又遇到工序尺寸②的箭头,再转弯至②号工序尺寸的原始基准点,此时,与 A 面的引伸线相会合。所以,[2]号设计尺寸的工艺组成环为工序尺寸①和②。

同理,[3]号设计尺寸 $70_{-0.1}$ 的工艺组成环为工序尺寸④。

如设计尺寸的工艺组成环只有一个时,则此设计尺寸由该工序尺寸直接保证。如[1]号设计尺寸由工序尺寸①直接保证,[3]号设计尺寸由工序尺寸④直接保证。当工艺组成环超过一个时,则该设计尺寸是由几个工序尺寸间接保证的,需要进行尺寸换算。如[2]号设计尺寸 ($10_{-0.15}$) 是由工序尺寸①和②间接保证的。

在进行尺寸链计算时,设计尺寸作为封闭环。

在填入的工艺组成环超过一个时,将增减环以斜线(即“/”)分隔,增环在前,减环在后。

(2) 增减环的简易判别法

某一尺寸链如图 3-18 所示, F 为该尺寸链的封闭环, $H_1 \sim H_8$ 为组成环。

先任取一个与封闭环相接的链环作为起始环,当该链环的尺寸线与封闭环的尺寸线在表面线同侧时,如图 3-18 中的 H_1 ,则该链环为增环。反之,在表面线的异侧时,如 H_8 ,则为减环。然后再以起始环的起点(封闭环的表面线),沿尺寸线的走向画箭头,如 H_1, H_2 的箭头向右。当尺寸线反向时,箭头也反向,如 H_3 的箭头向左。依次画至最后一个组成环。凡是与起始环同向的,其链环的增、减性也与起始环相同。即 H_1, H_2, H_4, H_6 和 H_7 均为增环。与起始环不同向的链环,其增、减性也与起始环相反。如 H_3, H_5 和 H_8 为减环。

若起始环选 H_8 ,其结果也一样

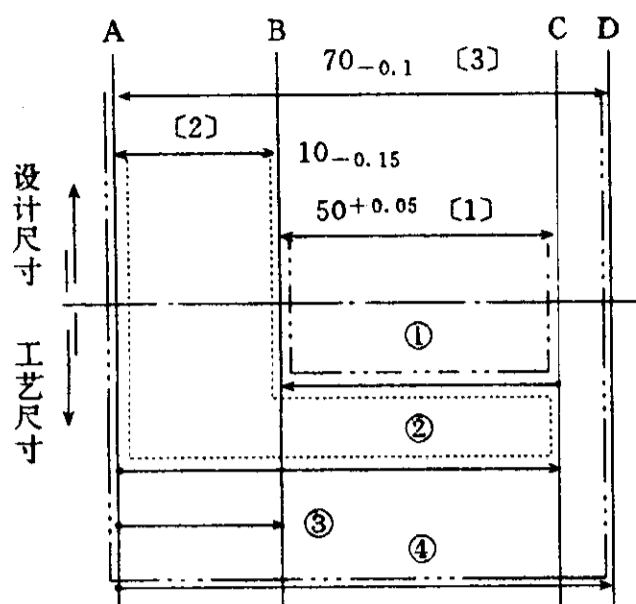


图 3-17 设计尺寸的工艺组成环

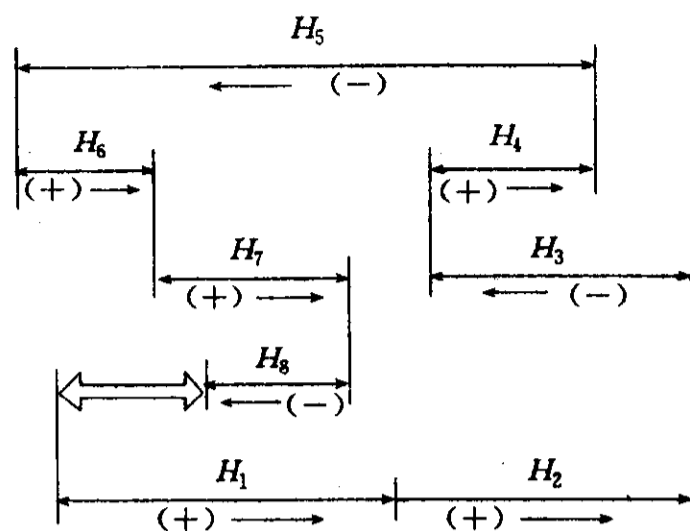


图 3-18 增减环判别法

2. 确定零件上各表面间的初始基本尺寸

由于标准公差数值(GB1800-79)以及余量的规格资料等都是基本尺寸的主段落来分段制定的。所以在选择这些公差及余量时,应先有基本尺寸的数值。由于在加工过程中所用的原始尺寸还未确定,而且,在工艺过程中的原始尺寸系统不一定和零件图上的设计尺寸系统相吻合,所以需要先算出零件上各表面间基本尺寸的大小,供选择经济精度的公差值和加工余量时作为依据。

由图 3-16,衬套的 A,B,C,D 四个表面,给定了三个设计尺寸,就可以计算出各表面间的基本尺寸。

已知:

$$L_{AB} = 10$$

$$L_{AD} = 70$$

$$L_{BC} = 50$$

据上述尺寸,即可算出

$$L_{AC} = L_{AB} + L_{BC} = 10 + 50 = 60$$

$$L_{BD} = L_{BC} + (L_{AD} - L_{AB} - L_{BC}) \\ = 50 + (70 - 10 - 50) = 60$$

$$L_{CD} = L_{AD} - (L_{AB} + L_{BC}) \\ = 70 - (10 + 50) = 10$$

当尺寸较多或用计算机进行计算时,可采用解线性方程组的方法来求解。 N 个表面(即 N 个未知数 $X_i, i=1, 2, \dots, N$)有 $N-1$ 个尺寸(即有 $N-1$ 个线性方程),加上边界条件 $X_1=0$,即可求出任意两表面间的距离。

3. 确定各工序尺寸的偏差

全部工序尺寸,按与保证设计尺寸有关的尺寸(设计尺寸表中,工艺组成环的尺寸)和无关的尺寸分为两类。分述如下。

(1) 与保证设计尺寸有关的工序尺寸的偏差

在设计尺寸表中的工艺组成环均为这一类尺寸,确定其尺寸偏差的原则是:

① 当工序尺寸直接保证某一设计尺寸时,可取设计尺寸的公差值;

② 当一个工序尺寸参加几个设计尺寸的保证时,则先按最严的设计尺寸要求来确定工序尺寸的公差值;

③ 当有几个工序尺寸一起保证某一设计尺寸时,则需要进行尺寸换算来确定公差值。在换算时,若要确定两个或两个以上的工序偏差时,则可采用分配公差的方法来确定。

衬套的工序尺寸①,②,④与保证设计尺寸有关(见图 3-17)。

先确定工序尺寸④的公差为 0.1。工序尺寸①参加了〔1〕号和〔2〕号设计尺寸的保证,但由于〔1〕号尺寸的精度要求高,所以,①号工序尺寸的公差按〔1〕号设计尺寸的要求来确定,取为 0.05。工序尺寸②的公差,据工序尺寸①,②和设计尺寸〔2〕进行计算得工序尺寸②的偏差为 0.1。

最后,将上述公差按入体要求注成偏差形式。

(2) 其它工序尺寸的偏差

对于与保证设计尺寸没有直接联系的工序尺寸的偏差,其公差值可按本工序的经济加工精度来确定。如细加工工序尺寸③,⑤,⑥可按照 IT11 来取值,其公差值分别为:0.09,0.19,0.19。而工序尺寸⑦,⑧,⑨,⑩是粗加工尺寸,可按 IT12 来取值,公差值分别为:0.15,0.30,0.30,0.30。最后也按入体要求注成偏差形式。

4. 计算加工余量的变化值

工序的加工余量,由于受工序尺寸公差的影响,实际上切除的加工余量是在一定范围内变化的。余量过大,则费工费料。余量过小,会使加工困难。因此,为使所确定的加工余量值比较合理,需计算出余量的变化情况。

(1) 余量组成环的确定

在计算余量变化时,首先需确定影响余量变化的有关工序尺寸。

某一工序尺寸的加工余量,是由某些工序尺寸间接确定的。在衬套工艺过程中,工序 30 中工序尺寸①的加工余量,如图 3-19(a)所示。

工序尺寸①的加工余量 Z_1 是由工序尺寸①,②及③所确定的。余量作为尺寸链的一环,是封闭环。而其组成环则是有关的工序尺寸。 Z_1 的组成环是工序尺寸①,②和③。由于在尺寸图表中,并不标出余量线,所以在确定余量的组成环时,可采用 3-19(b)所示的方法。即在工序加工尺寸的箭头处,分两路作引伸线,其一是由箭头处沿尺寸线到原始基准再向下,其二是在箭头处沿表面线向下,仍按遇箭头就转弯、遇原始基准即向下的方法,直到会合时为止,引伸线所包含的工序尺寸线,即为余量的组成环。

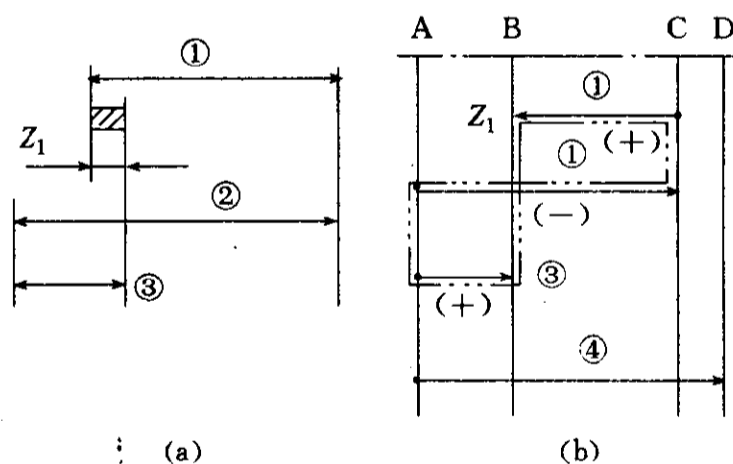


图3-19 余量的尺寸链

(2) 余量尺寸链增减环的判别方法

在确定余量尺寸链组成环的性质时,首先确定本工序尺寸的增、减性质。如在确定 Z_1 余量的组成环时,首先确定工序尺寸①的增、减性质。

由于位置尺寸的公差在工序中是按“入体”标注的,所以凡本工序尺寸的偏差为正(即具有上偏差)时,则本工序尺寸为增环,反之,本工序尺寸的偏差为负时,则为减环。工序尺寸①的偏差是 +0.05,所以工序尺寸①是 Z_1 尺寸链中的增环。在确定了第一环的性质以后,再按增减环

的简易判别法来确定其它组成环的性质。如 Z_1 的尺寸链, ①是增环, 则②是减环, ③又是增环。

在确定了组成环以及其是增或减以后, 将它们填入尺寸图表内。

(3) 余量变化量的计算

对余量的变化量计算, 也就是对封闭环(余量)作上、下偏差计算。

如 Z_1 : 增环是①(偏差为 $^{+0.05}_0$), 及③(偏差为 $^{+0.09}_0$);

减环为 ②(偏差为 $^{+0.1}_0$),

所以有:

$$\Delta Z_{1s} = +0.05 + 0 - 0 = 0.05$$

$$\Delta Z_{1x} = 0 + (-0.09) - (+0.1) = -0.19$$

类似地, 其它余量的变化也照此计算。最后将计算的数值填入尺寸图表内。

在设计工艺过程时, 由于精加工阶段的余量较小, 所以通常只对精加工工序的尺寸进行余量变化值的计算。必要时, 也对细加工阶段进行余量变化的计算。

5. 确定基本余量的数值

各工序尺寸在加工时的基本余量, 一般均可由规格资料查得(见附录四)。

精加工和细加工的加工余量, 可按工件的有关尺寸(如工件的长度、加工面的直径等)由规格资料查阅。如 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 和 Z_6 分别为 0.3, 0.3, 0.6, 1.0, 1.0, 1.0mm。

在查出基本余量的数值后, 应按余量变化的情况检查一下最大、最小余量是否合适。如 Z_1 的基本余量为 0.3mm, 其变化量为 $^{+0.05}_0$, 即最大余量为 0.35, 最小余量为 0.11。在这种情况下, 加工时一般不会产生困难。又如 Z_2 的基本余量也为 0.3mm, 其变化量 $^{+0.1}_0$, 即最大余量为 0.4, 最小余量也是 0.11, 也不会发生困难。

当最小余量不够时, 可适当增大基本余量的数值。反之, 当最大余量过大时, 在能保证最小余量的情况下, 可适当减少基本余量。若余量的变化量过大时, 则只是在增加加工困难不大的情况下, 可适当地压缩工序尺寸的公差, 或重新调整工艺路线以及原始基准系统, 改变有关尺寸链的组成。

关于粗加工工序的加工余量, 一般可查得毛坯的总加工余量后, 再经过计算(减去细、精加工工序的余量)后得到。 Z_7, Z_8, Z_{10} 的余量分别为 2.5, 3.0, 3.0mm。工序尺寸⑨是加工孔深, 无所谓余量。

最后将余量填入尺寸图表内。

6. 确定各工序尺寸的基本值

首先, 确定直接保证设计尺寸的工序尺寸。

如尺寸①, 直接保证[1]号设计尺寸($50^{+0.05}$), 因工序尺寸的偏差与设计尺寸的偏差相同(均为上偏差), 所以工序尺寸①的基本值可直接确定为 50mm。同理, 工序尺寸④的基本尺寸应是 70mm。

工序尺寸②, 因为不是直接保证某一设计尺寸的, 而是与工序尺寸①一起间接保证[2]号设计尺寸的。由于工序尺寸①($50^{+0.05}$)以及工序尺寸②的偏差(+0.1)都已确定, 所以尺寸②的基本值必须进行计算。

设工序尺寸②为 $H \pm \Delta h_2$, 根据尺寸链方程可得:

$$10 = H - 50$$

$$0 = \Delta h_2 - 0$$

$$-0.15 = \Delta h_x - 0.05$$

所以

$$H = 10 + 50 = 60$$

$$\Delta h_s = 0$$

$$\Delta h_x = -0.15 + 0.05 = -0.1$$

即

$$H_{+\Delta h_x} = 60_{-0.1}$$

因为②号工序尺寸的偏差是+0.1,所以,②号定为 $59.9^{+0.1}$ 。

必须指出,这种计算是为了保证封闭环(设计尺寸)的极限尺寸。因此,当在保证一个设计尺寸的尺寸链中,需要确定几个工序尺寸时,一般可先按各表面间的基本尺寸及有关余量来确定各工序尺寸,最后留下一个尺寸进行计算,即可保证设计尺寸的最大、最小极限尺寸的要求。

当全部确定了与保证设计尺寸有关的工序尺寸的基本值以后,则工件上各表面线之间的距离也就完全确定。

图 3-20 为衬套零件确定了与保证设计尺寸有关的工序尺寸①,②,④以后的情况。

其它和保证设计尺寸无关的工序尺寸,其基本值可按有关表面间的距离,再加上或减去基本余量而得。如:

$$\text{工序尺寸: } ③ = H_{AB} + Z_1 = 9.9 + 0.3 = 10.2$$

$$\text{工序尺寸: } ⑤ = H_{AC} - Z_2 = 59.9 - 0.3 = 59.6$$

$$\text{工序尺寸: } ⑥ = H_{AD} + Z_4 = 70 + 1 = 71$$

$$\begin{aligned} \text{工序尺寸: } ⑦ &= H_{AB} + Z_6 + Z_3 + Z_1 \\ &= 9.9 + 1 + 0.6 + 0.3 = 11.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工序尺寸: } ⑧ &= H_{AD} + Z_5 + Z_4 \\ &= 70 + 1 + 1 = 72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工序尺寸: } ⑨ &= H_{AC} - Z_2 - Z_5 + Z_6 \\ &= 59.9 - 0.3 - 1 + 1 = 59.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{工序尺寸: } ⑩ &= H_{AD} + Z_4 + Z_6 + Z_8 \\ &= 70 + 1 + 1 + 3 = 75 \end{aligned}$$

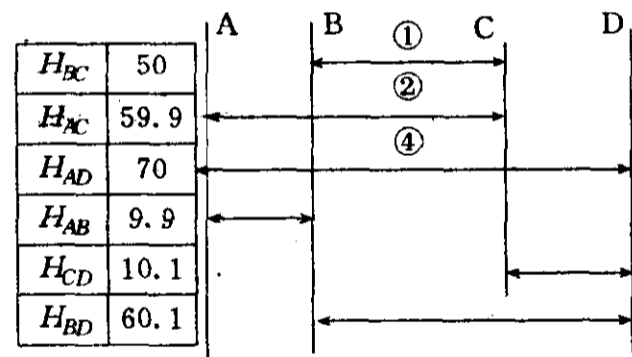


图 3 20 工件上各表面线间的距离

最后,将上述尺寸填入图表内。

在上述各项全都计算完成后,尺寸图表如图 3-21 所示。此图表可作为工艺过程尺寸设计的原始记录。

在以上的计算过程中,均采用了偏差法进行计算。有时也可采用平均尺寸和对称偏差法来进行计算。采用对称偏差法计算的优点是在尺寸链偏差计算时,可以不必区分增减环的上、下偏差。而其缺点是需要先对尺寸及偏差进行转换,由于转换而产生小数点后的位数较多,计算繁而费时。在计算完成后还需将对称偏差转换成单向偏差。尤其是由于基本尺寸小数点后位数较多,在舍弃尾数后要损失精度。

用对称偏差法的尺寸图如图 3-22 所示。

用偏差法和对称偏差法计算时,某些基本尺寸略有不同。从而影响余量的极限值也有所变化。

轴套的轴向尺寸数较多些,经计算后尺寸图表如图 3-23 所示。

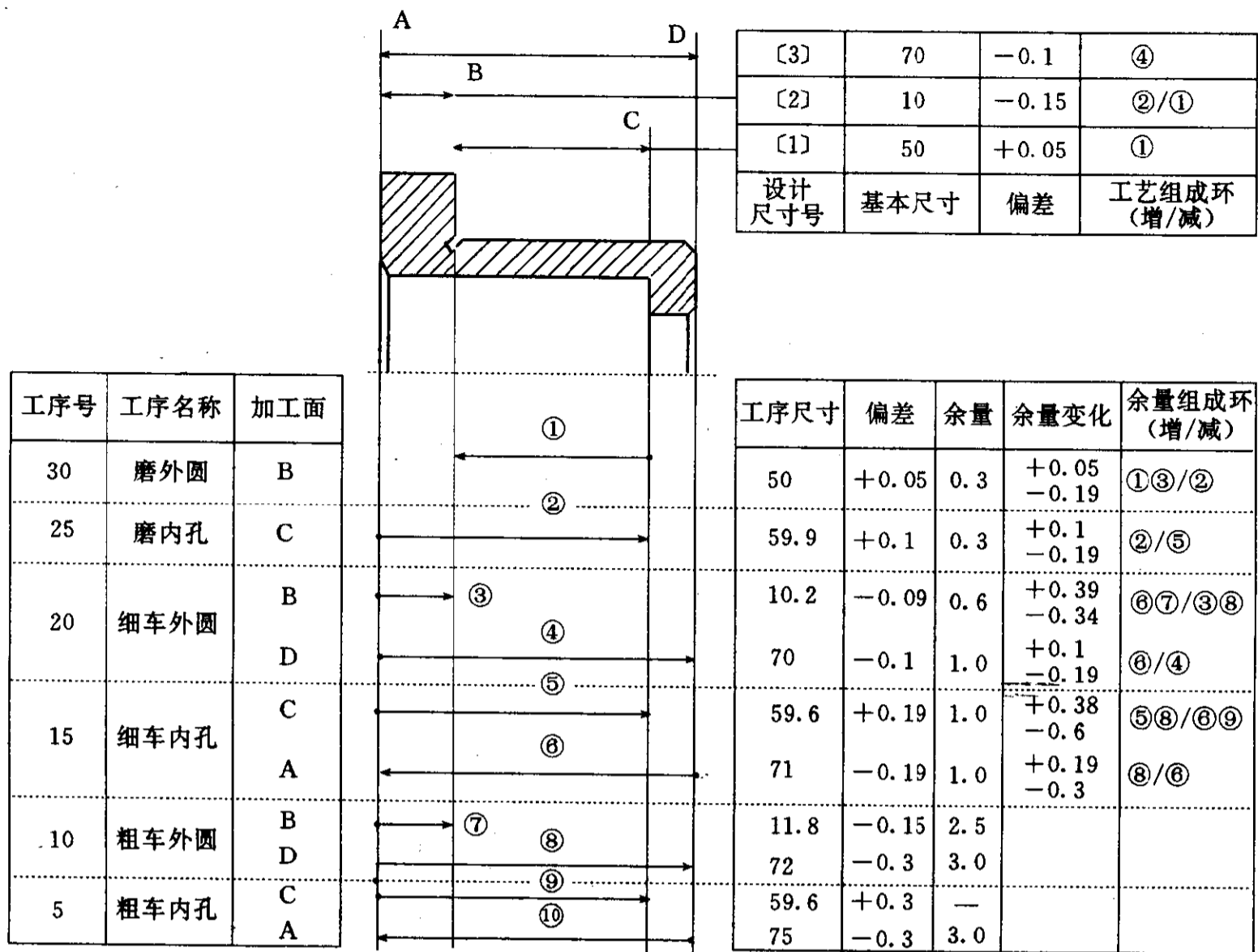


图3-21 衬套零件的尺寸图表

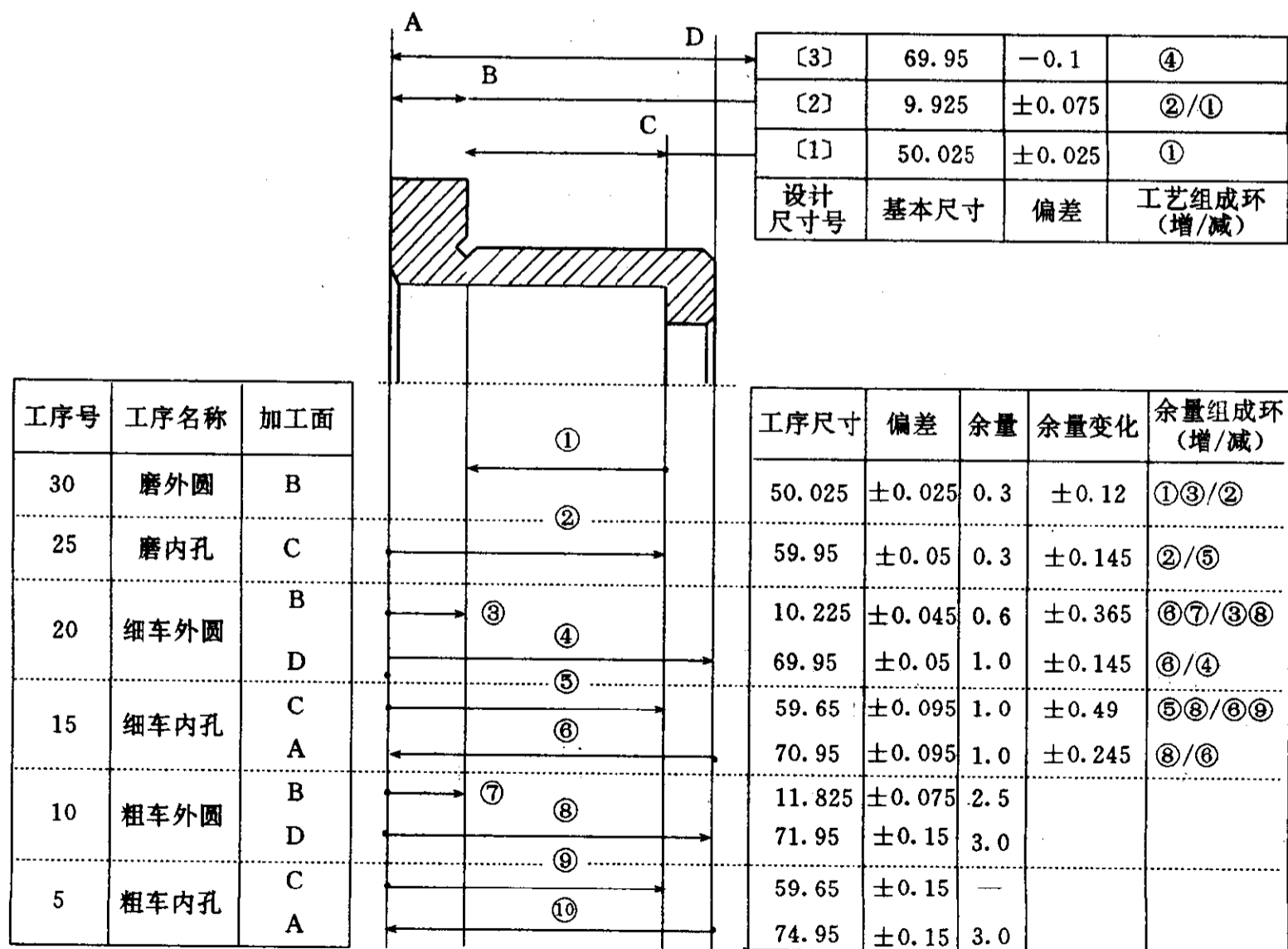
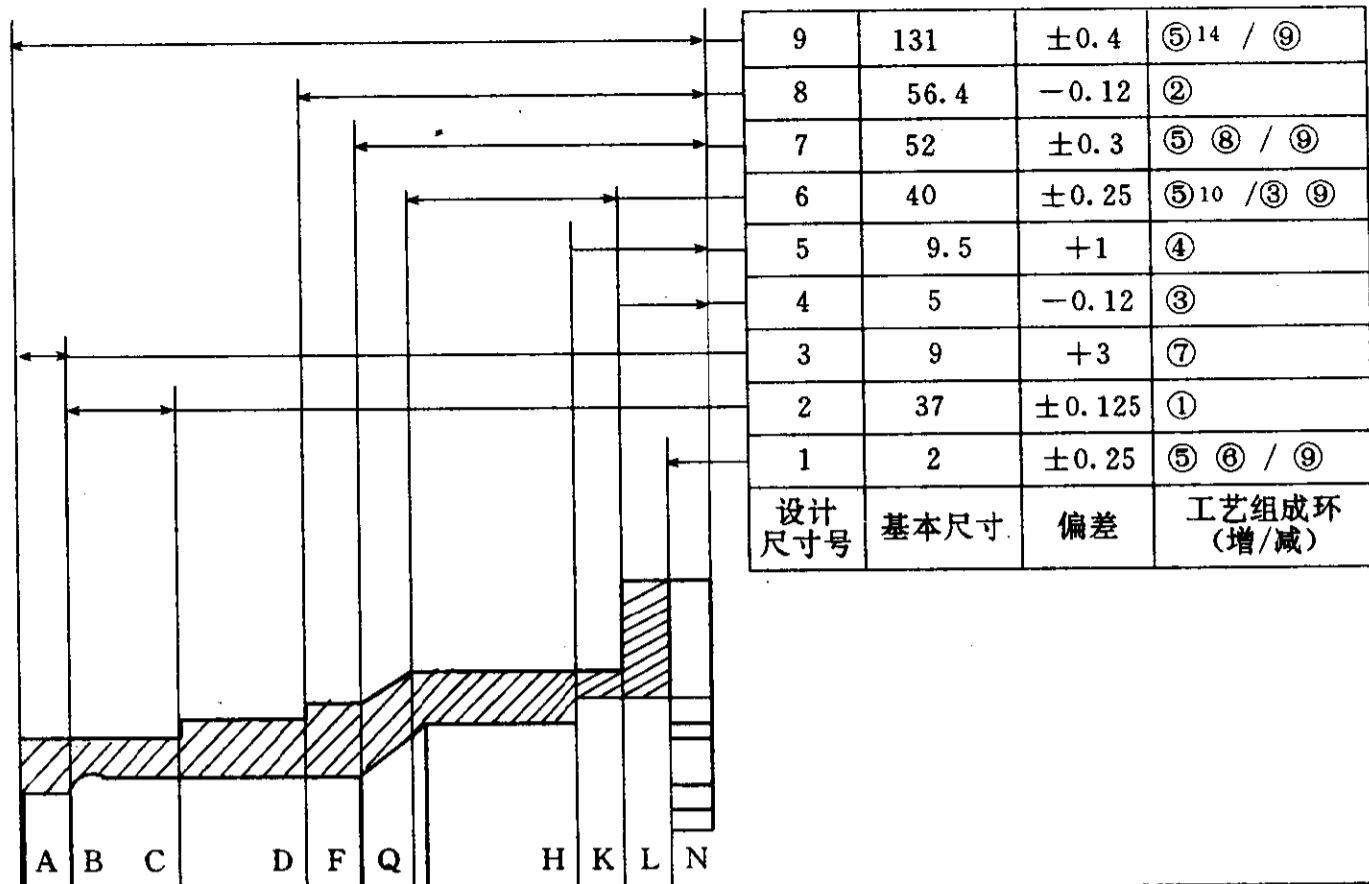


图3-22 对称偏差法的尺寸图表



工序号	工序名称	加工面	工序尺寸	偏差	余量	余量变化	余量组成环(增/减)
65	磨外圆	C	37	-0.1	0.3	+0.32 -0.24	⑤⑬/①②⑨
		D	56.4	-0.12	0.3	±0.22	⑤⑫/②⑨
		K	5	-0.12	0.3	+0.12 -0.1	⑤/③
60	磨内孔	H	9.5	+1	/		
		N	5.3	-0.1	0.3	±0.1	⑨/⑤
55	铣槽	L	2.3	+0.3	/		
50	细镗内腔表面	B	12	-3	/		
		F	52.3	±0.19	1.0	±0.19	⑧/⑮
40	磨外圆	K	5.75	-0.1	0.3	±0.1	⑪/⑨
35	细车外圆	G	45.48	-0.18	1.0	+0.33 -0.35	⑬ ⑲ / ⑩ ⑳
		K	6	-0.1	1.0	±0.1	⑬ / ⑪
		D	57	-0.12	1.0	+0.27 -0.4	⑬ ⑱ / ⑫ ⑳
		C	94	-0.14	1.0	+0.29 -0.45	⑬ ⑰ / ⑬ ⑳
30	车大端及内腔	F	53.3	+0.19	1.0	+0.27 -0.45	⑮ ⑳ / ⑰ ㉑
		N	7	-0.1	1.0	+0.1 -0.15	⑳ / ⑰
15	粗车外圆	C	96	-0.35	/		
		D	57	-0.3	/		
		G	45.4	-0.25	/		
10	粗车大端内孔	K	8	-0.51	3.0		
		F	53.3	+0.3	/		
5	粗车小端	N	133.4	-0.4	4.0		
		A	60	+3	/		
			137.4	-0.63	4.0		

图3-23 轴套尺寸图表

第四章 机械加工精度

§ 4-1 概 述

质量、生产率和经济性是制造工程中的基本问题。这三者之间是互有联系的,但是,其中的质量问题始终是最根本的问题。对于机械产品来说,要求有极高的技术性能和可靠性,所以更应该重视质量。因此,在机械工业部门需要重视现代科学技术成果的应用,以不断提高产品的质量。

零件的制造质量可用下列参数来表示。

几何的参数:尺寸、形状、位置关系和粗糙度等;

物理的参数:导热、导电和导磁性等;

化学的参数:耐蚀性等;

机械的参数:强度、硬度和冲击韧性等。

这些参数的数值或指标可根据产品的工作要求来加以规定。制造后所获得零件的实际参数和设计规定的参数相符合的程度,就表示零件的制造质量。

为便于分析研究,通常把零件在加工后的实际宏观几何参数(尺寸、形状、位置关系)和设计规定的几何参数相符合的程度,称为加工精度。并把实际微观几何参数(粗糙度)和表面层的物理-机械性能等参数和设计规定的相符合的程度,称为表面质量。

零件的加工精度包括:尺寸精度(表面本身的尺寸及表面间的位置尺寸)、形状精度和位置关系精度三个方面。加工精度在数值上一般通过加工误差值的大小来表示,误差愈小则加工精度愈高。

加工误差和设计规定的公差不同。它是加工过程中产生的,是一个变量。加工误差的数值在同一批工件中,各个工件的误差值也不是完全相同的。公差,则是设计规定的对各参数允许变化的范围,它限制误差的数值。当工件上某一参数的误差值超过公差范围时,则此工件为不合格件,需要返修或报废。

研究加工精度的目的,就是要把各种误差控制在所允许的公差范围之内。为此,需要分析产生误差的各个因素,从而找出减小加工误差、提高加工精度的工艺措施。

§ 4-2 加工误差产生的原因

零件的尺寸、几何形状和表面间位置关系的形成,主要取决于工件和切削工具在切削过程中的相互位置和一定的相对运动。在加工过程中,机床、夹具、工件和切削工具组成了一个完整的系统,称为工艺系统。这个系统各个环节的误差都和加工误差有紧密的关系。

工艺系统的误差,一方面是系统各环节本身及其相互间的几何关系、运动关系与调整测量等因素的误差;另一方面是加工过程中因负载(如受力变形、受热变形等等)使系统偏离其理论

状态而产生的误差。因此,需对上述产生加工误差的各个环节的主要因素,进行详细的分析。

一、理论误差

理论误差是由于采用了近似的加工方法而产生的。近似加工法最常遇到的是采用近似的加工运动或近似的切削工具轮廓两种形式。

在某些比较复杂的型面加工时,为了简化机床设备或切削工具的结构,常采用近似的加工方法。

如滚切加工渐开线的齿形时,为了便于工具制造,采用法向直廓基本蜗杆来代替渐开线基本蜗杆的滚刀,就产生了理论误差。另外,滚刀需要切削而开刃,因而加工后不是光滑的渐开线齿形曲线,而是为折线所代替。

在用离散点定义的复曲面加工时,常采用回转面族的包络面去逼近原曲面,这也要产生理论误差。另外,在数控机床上,常用直线或圆弧插补来加工轮廓曲线和曲面,也有理论误差存在。

又如图 4-1 所示,为某型涡轮叶片叶型(叶盆)的加工,由于叶盆是斜锥面,加工比较困难,若用正圆锥面来代替,则加工就十分方便。因此,每个截面上的理论曲线(圆弧)都由椭圆来代替而产生了理论误差。

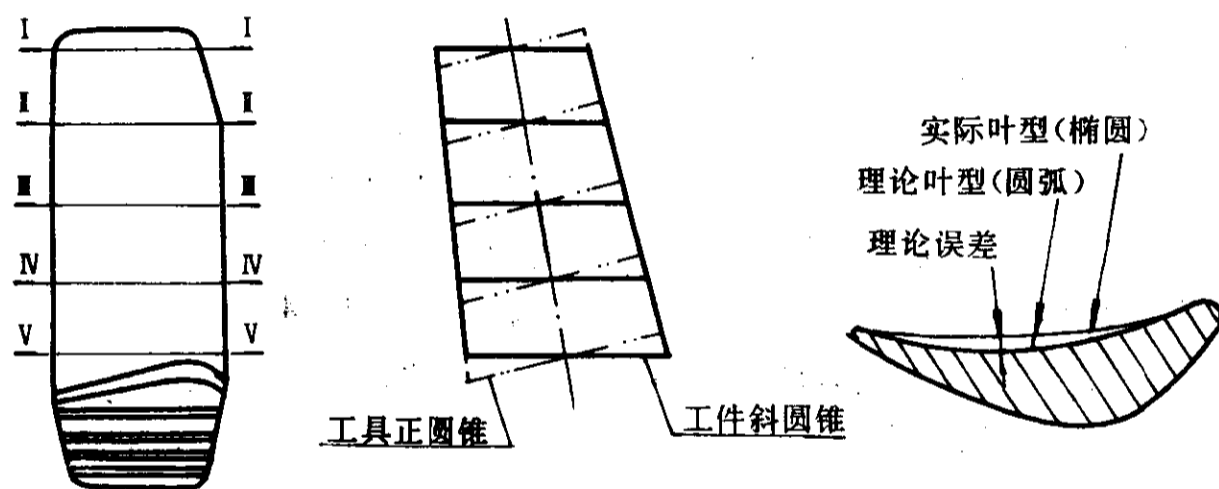


图 4-1 叶片叶盆加工的理论误差

综上所述,一般在型面加工时才采用近似加工法。由于近似加工法比较简单,只要理论误差不大,采用近似加工法就可大大提高生产率和经济性。

理论误差的大小,一般应控制在公差值的 10%~20%左右。其数值可用分析计算法或作图法来确定。

二、机床、夹具和切削工具的几何误差

1. 机床误差

被加工工件的精度,在很大程度上取决于机床的误差。机床误差包括机床的制造误差、磨损和安装误差。

在机床的这些误差中,对加工精度影响较大的有主轴回转精度、导轨的导向精度以及传动链的传动精度。

(1) 主轴回转精度

机床主轴用以安装工件或切削工具,其回转精度要影响工件在加工时的表面形状、表面间

的位置关系精度,以及表面的粗糙度等,是机床精度的重要指标之一。

主轴的回转误差,是指主轴实际的回转轴线相对于理论轴线的漂移。

由于主轴存在着轴颈的圆度误差、轴颈间的同轴度误差,以及轴承的各种误差、轴承孔的误差、本体上轴承孔间的同轴度误差等等,这些误差都要影响主轴轴心线的位置。在加工过程中,还要受到各种力及温度等多种因素的影响,造成主轴回转轴线的空间位置发生周期性的变化,从而使轴线漂移。

主轴回转误差一般可分三种基本形式,即径向跳动、角度摆动和轴向窜动。如图 4-2 所示。

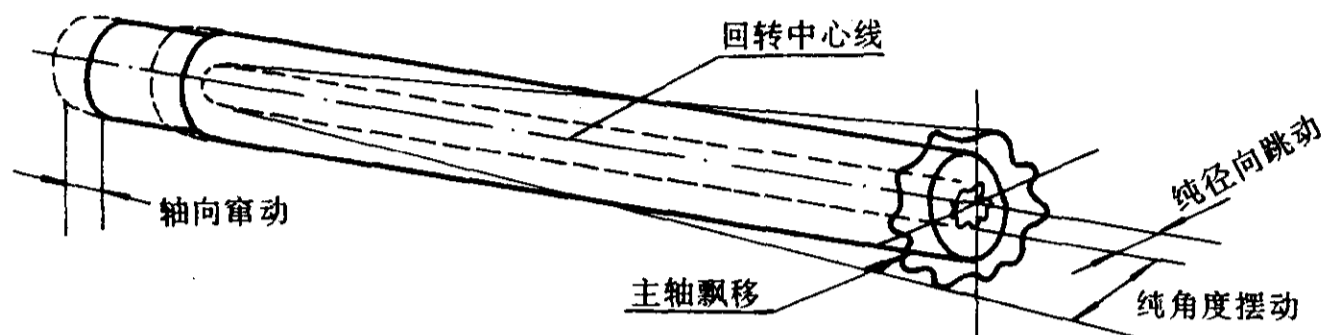


图 4-2 主轴回转误差的基本形式

主轴的径向回转误差是径向跳动和角度摆动的合成;轴向回转误差是轴向窜动和角度摆动的合成。不同的加工方法,对不同的回转误差所造成的影响也是不同的。

如在加工外圆或内孔时,径向回转误差要引起圆度和圆柱度误差,而径向回转误差对加工端面则无直接影响。轴向回转误差对加工内孔或外圆影响不大,而对端面垂直度则有很大的影响。在车螺纹时,它使螺旋面的导程产生周期误差。

由以上分析可知,对圆柱面及端面等的精密加工,需要采用能稳定主轴回转的轴系。因此,静压轴承等结构,在精密机床上的应用日益增多。对于采用滚动轴承的主轴,则需要保持适当的预载荷以稳定主轴的回转。

(2) 导轨的导向精度

导轨是机床各部件运动的基准,机床的直线运动精度主要取决于机床导轨的精度。为了控制导轨的误差,就需要控制:

- ① 导轨在垂直平面内的直线度;
- ② 导轨在水平平面内的直线度;
- ③ 前后导轨的平行度;
- ④ 导轨与主轴回转轴线的平行度。

导轨的直线度要影响工具切削刃的轨迹,从而影响加工误差。在垂直平面内和水平平面内的直线度误差,对不同的加工方式其影响是不同的。如在普通车床上加工外圆时,导轨在垂直平面内的直线度误差,对尺寸精度的影响就很小,而水平平面内的直线度误差,其影响就很大。

如图 4-3 所示,(a)为导轨在垂直平面内的直线度误差,引起刀具有 δ_z 的位移。(b)为导轨在水平平面内直线变误差,引起刀具有 δ_y 的位移。

由图知:

$$(R + \delta R_1)^2 = R^2 + \delta_z^2$$

略去二阶微量 δR_1^2 后,得:

$$2R\delta R_1 = \delta_z^2$$

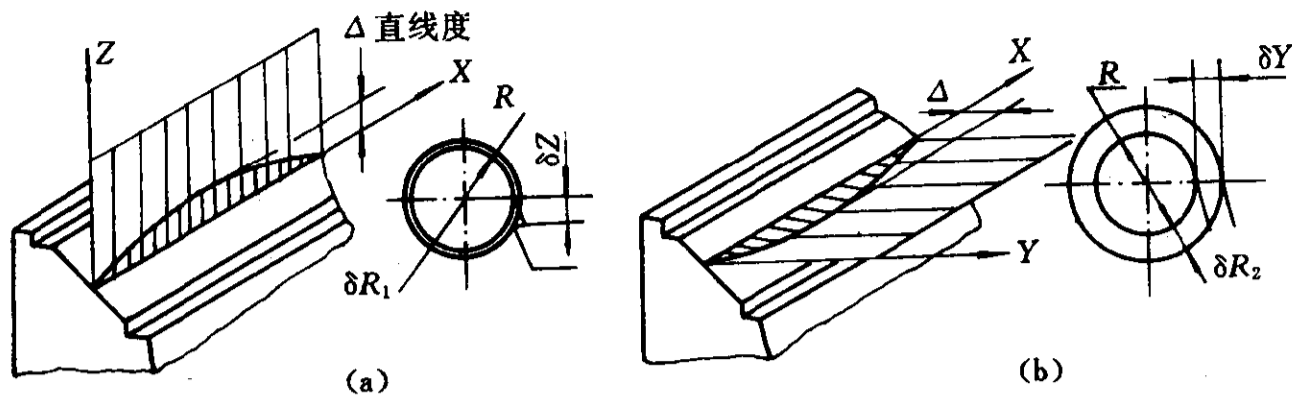


图 4-3 导轨直线度误差对加工精度的影响

所以

$$\delta R_1 = \delta_z^2 / 2R$$

而

$$\delta R_2 = \delta_y$$

若 $R=25\text{mm}$, $\delta_z = \delta_y = 0.1\text{mm}$, 则

$$\delta R_1 = 0.1^2 / 2 \times 25 = 0.0002(\text{mm})$$

$$\delta R_2 = 0.1\text{mm}$$

由以上计算可知, 导轨垂直平面内的直线度误差, 对车削这种加工方法来讲, 影响较小, 可以忽略不计。

另外, 导轨间的不平行度(扭曲)误差, 也要影响刀架和工件之间的相对位置而引起加工误差, 如图 4-4 所示。

设导轨的扭曲量为 δ , 由之而引起车刀在水平方向的位移量为 Y , 则

$$Y \approx \delta H / B$$

式中 H ——中心高;

B ——导轨间距。

由于一般机床的 H/B 的数值在 $0.6 \sim 1$ 之间, 因此, 导轨扭曲对加工精度的影响也是较大的。

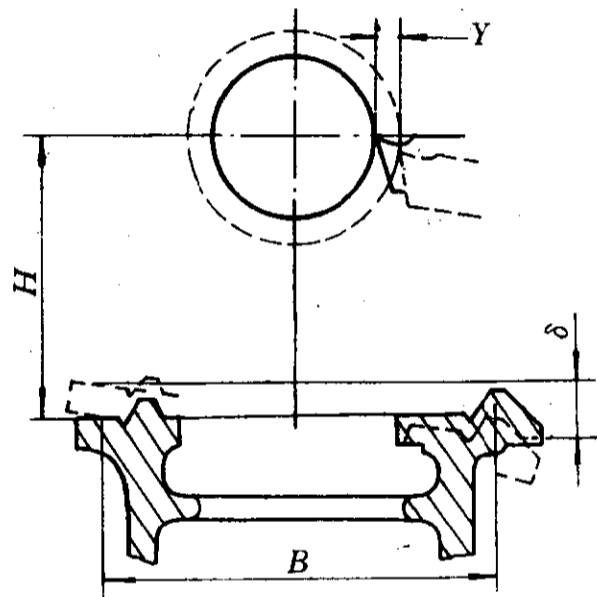


图 4-4 导轨扭曲引起的加工误差

(3) 传动链的传动精度

在某些加工过程中, 成形运动有一定的速度关系, 如齿轮的齿形与螺纹等表面的加工。切削工具和工件之间的运动关系, 通常是通过机床的传动链来保证的。因此, 传动系统的误差将对工件的加工误差产生直接的影响。

为了提高传动精度, 一般在工艺上常采取下列措施:

- ① 缩短传动链, 以减少传动件个数, 减少误差环节;
- ② 提高传动件的制造精度, 特别是末端传动件的精度, 对加工误差的影响较大;
- ③ 提高传动件的装配精度, 特别是末端传动件的装配精度, 以减少因几何偏心而引起的周期误差。
- ④ 传动采用降速传动, 以缩小传动误差对加工精度的影响。

另外, 为了加工高精度的工件, 常采用误差补偿的办法来提高机床的传动精度。补偿装置可采用计算机控制的自动补偿装置, 以校正机床的静态和动态传动误差。

2. 夹具误差

夹具是用以使工件在机床上安装时,相对于切削工具有正确的相对位置,因此,夹具的制造误差以及在使用过程中的磨损,会对工件的位置尺寸和位置关系的精度有比较大的影响。

夹具上的定位元件,切削工具的引导件,分度机构以及夹具体等的制造误差,都会影响工件的加工精度。对于因夹具制造精度而引起的加工误差,在设计夹具时,应根据工序公差的要求,予以分析和计算。一般精加工用夹具取工件公差的 $1/2\sim 1/3$,粗加工夹具则一般取工件公差的 $1/3\sim 1/5$ 。

夹具在使用过程中要磨损,这也要对工件的加工精度有影响。因此,在设计夹具时,对于容易磨损的元件,如定位元件与导向元件等,均应采用较为耐磨的材料进行制造。同时,当磨损到一定程度时,应及时地进行更换。

3. 切削工具误差

切削工具的误差包括制造误差和加工过程中的磨损。它对工件加工精度的影响,由于切削工具的不同,其影响也有不同。在下列情况下,要直接影响加工精度。

(1) 定尺寸切削工具

定尺寸切削工具如钻头、铰刀、孔拉刀和键槽铣刀等,在加工时,切削工具的尺寸和形状精度要直接影响工件的尺寸和形状精度。

(2) 定型切削工具

定型切削工具如成形车刀、成形铣刀、成形砂轮等,在加工时,切削工具的形状,要直接反映到工件的表面上去,从而影响工件的形状精度。

对于一般切削工具,如普通车刀、镗刀和铣刀等,其制造精度对加工误差无直接影响。但如果切削工具的几何参数或材料选择不当,将影响切削工具急剧磨损,也要间接地影响加工精度。

在切削过程中,切削工具不可避免地要产生磨损,使原有的尺寸和形状发生变化,从而引起加工误差。

在精加工以及大型工件加工时,切削工具的磨损,对加工精度会有较大的影响。同时,也是影响工序加工精度稳定性的重要因素。

对加工精度的影响主要是在加工表面法向上的磨损量。磨损量的大小,直接引起工件尺寸的改变。图4-5所示为车削的情况。

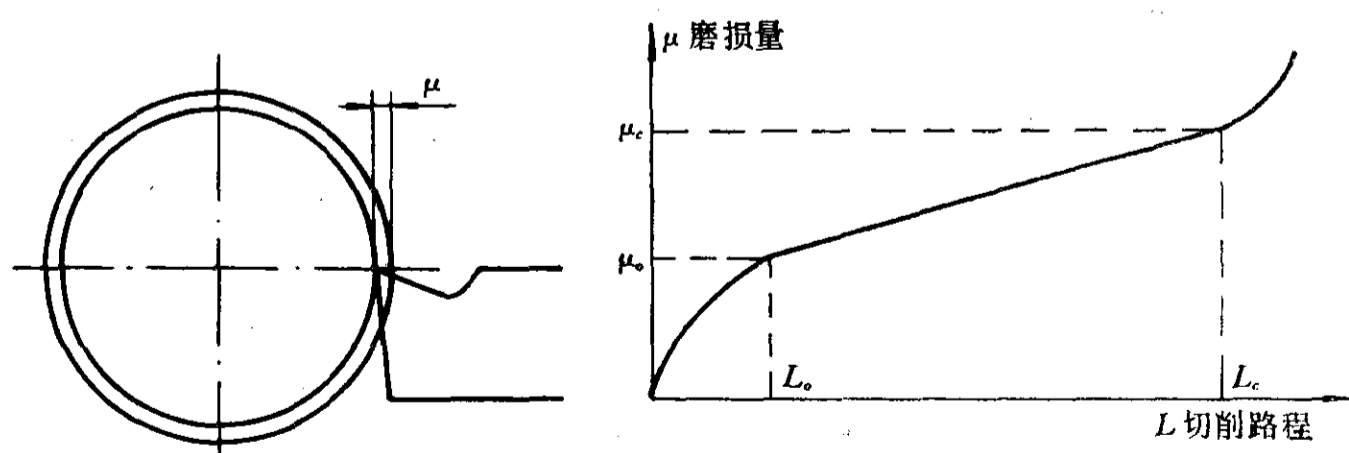


图 4-5 车削工具的磨损

一般刀具的磨损从切削开始后就会产生,初期磨损较快,正常磨损阶段磨损较慢,而且磨损量 μ 和切削路程 L 的长短基本上成线性关系。当磨损量达到一定程度(μ_c)以后,刀刃就产生急

剧的磨损,无法进行切削。所以,刀具必须在此之前进行重磨。

在正常磨损下,刀刃每切削 1000m 路程的尺寸磨损量称为单位磨损量。当切削路程为 L m 时,刀具的磨损量 μ 为

$$\mu = \mu_0 + k_{\mu}(L - L_0)/1000(\mu\text{m})$$

式中 μ_0 ——初磨损量(μm);

k_{μ} ——单位磨损量($\mu\text{m}/\text{km}$);

L_0 ——初磨损量的切削路程(km)。

常用硬质合金刀具的磨损量情况(精车)如表 4-1 所列。

表 4-1 刀具的初磨损量 μ_0 与单位磨损量 k_{μ}

加工材料	刀具材料	切削用量			初度损量 $\mu_0(\mu\text{m})$	单位磨损量 $k_{\mu}(\mu\text{m}/\text{km})$
		切深 (mm)	进给量 (mm/r)	切削速度 (m/min)		
45 钢	YT60、YT30	0.3	0.1	465~485	3~4	2.5~2.8
	YT15	<2	<0.3	100~200	4~12	8
	YT60、YT30				2	2~3.5
合金钢	YT15	0.5	0.2	135	4	8.5
	YG3				5	9.5
	YG5				6	30

为了减少切削工具对加工精度的影响,还应根据工件的材料及加工要求,合理地选择切削工具的材料并合理地选择切削用量,以减小切削工具的磨损量。

三、安装与调整误差

工件在夹具上或直接在机床上安装以及机床、夹具和切削工具的调整,都要影响工件相对于切削工具的空间位置。因此,这些环节的误差,都要影响工件的加工精度。

1. 安装误差

工件的安装误差,包括定位误差和夹紧误差。

定位误差首先与定位基准和定位方法的选择有关,同时,定位基准和定位件上的定位表面的制造精度,也有很大的影响。

定位基准有多种形式,如平面、圆柱面、型面及其组合。若基准表面比较简单,则定位基准就容易加工正确,复杂的定位基准容易产生较大的定位误差。另外,定位方法不同,影响误差的因素也就不同。如用圆柱定位销或小锥度心轴作为定位件时,其定位误差就会不同。

因此,不但要提高定位基准和定位表面的制造精度,而且要合理地选择定位基准和定位方法,以减少定位误差。

夹紧误差主要与夹紧力及夹紧机构的选择有关。

夹紧力的大小、方向和作用点的选择,对夹紧误差有很大的影响。在选择夹紧力时,要避免破坏工件定位的准确性和稳定性,同时要使夹紧变形小。特别是在工件的各向刚性相差较大时,更要注意夹紧力方向的选择,如薄壁套筒及环形件等,常用轴向夹紧以防止变形。

在选择夹紧机构时,应使工件能均匀与稳定地夹紧,在保证可靠性的同时,使夹紧变形减小。

2. 调整误差

调整是保证工艺系统中各环节位置精度的重要措施。通过调整,保证切削工具和工件的相对位置准确,从而保证工序的加工精度和工艺稳定性。

调整误差主要与机床、夹具和切削工具的调整误差有关。

机床上的定程机构如行程挡块、凸轮、靠模等以及影响工件与切削工具相对位置的其他机构的调整,都要影响工件的加工精度。

夹具在机床上安装时,一般是利用夹具和机床上的连接表面定位。当精度要求较高时,往往规定安装精度的数值,如要求同轴度、垂直度和平行度等。

切削工具在机床上的安装与调整,特别是在自动获得精度的情况下,如在转塔车床、多刀机床、仿形机床、组合机床和数控机床等机床上加工时,切削工具的调整就更为重要。

对于单件或小批生产,常采用试切法进行加工。在批量较大或大量生产时,为减少调整时间,调刀时可采用样件或对刀样板来进行调整。但是,由于在静态下调整有时和实际加工时有较大的差别,因此,在用样件或对刀样板来调整好以后,还要进行若干个工件的试切,再进行精调进行固定。

四、工艺系统的受力变形

在机械加工过程中,由机床-夹具-刀具-工件组成的工艺系统,在切削力、夹紧力、重力和惯性力等作用下,要产生变形。从而改变了已调整好的切削工具和工件的相对位置,因而导致加工误差的产生并破坏了切削过程的稳定性。

工艺系统是由很多零件和部件按一定的连接方式组合起来的总体,在受力后的变形是比较复杂的。

系统在受力后的变形,取决于系统的刚度。

刚度,是指抵抗外力使其变形的能力。在数值上系指加到系统上的作用力与由它所引起的在作用力方向上的位移之间的比值。

在机械加工中,工艺系统的刚度是:加工表面法向所受的外力与该方向上位移的比值,即

$$K = \frac{P_Y}{y} \quad (\text{N/mm})$$

式中 K ——工艺系统的刚度;

P_Y ——垂直于被加工表面的切削分力(N);

y ——切削分力 P_Y 方向上的位移(mm)。

必须指出,式中 y 是由系统所受全部作用力综合引起的变形,不只是由 P_Y 所引起的变形。

工艺系统的刚度,是以系统中各个环节的刚度来进行计算的。

设 y_1, y_2, y_3, \dots 为系统中各个环节在所取点上在 P_Y 方向上的位移,则整个系统的位移为

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots$$

即

$$\frac{P_Y}{K} = \frac{P_Y}{K_1} + \frac{P_Y}{K_2} + \frac{P_Y}{K_3} + \dots$$

所以有

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots$$

式中 K_1, K_2, K_3 ——系统中各个环节的刚度。

或

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots$$

式中 ω ——工艺系统的柔度；

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——工艺系统中各环节的柔度。

所谓柔度,也就是在单位外力作用下,系统所产生的变形值,即刚度的倒数。

由以上分析说明,工艺系统刚度的倒数,等于各组成环节刚度倒数之和。亦即工艺系统的柔度等于各组成环节柔度之和。因此,在分析、研究和计算各组成环节的刚度后,即可知系统的刚度及其特性。

1. 工艺系统中部件的变形

单个零件的刚度,一般尚可构造力学模型作近似计算,但对于由若干零、组件组成的部件,刚度的计算就十分复杂和困难。在实践中一般均用实验的方法来测定。图 4-6 所示为某车床刀架部件的刚度曲线。

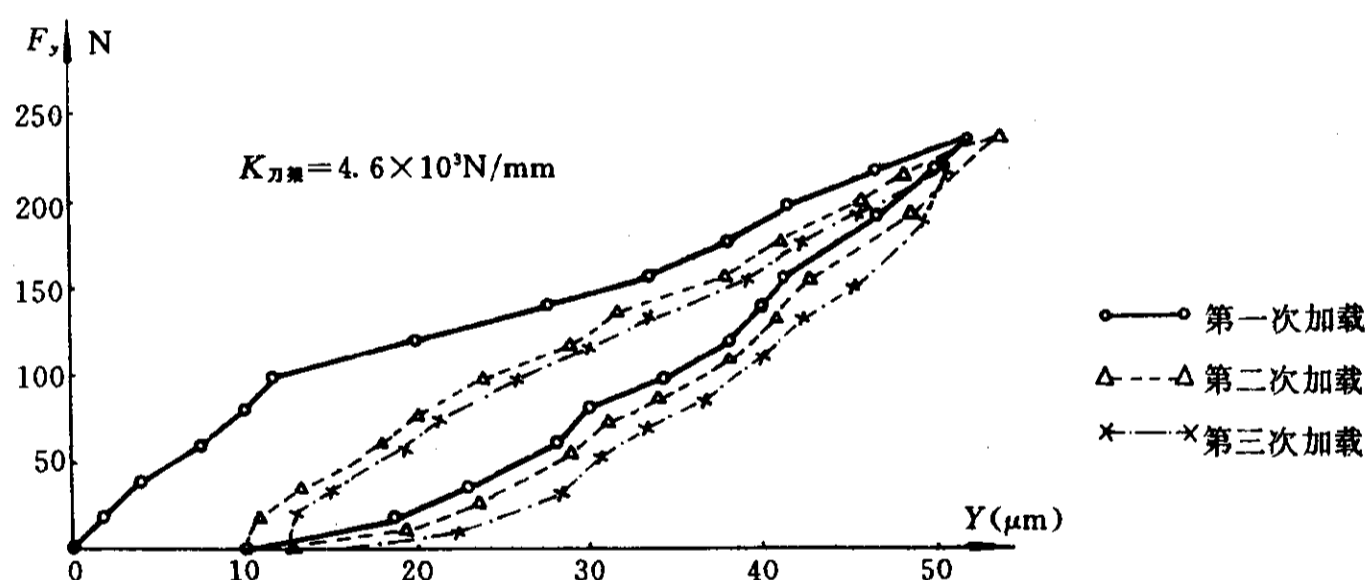


图 4-6 车床刀架部件的刚度曲线

图中所示为三次加载和卸载的曲线,由图知:

力和变形的关系是非线性的,曲线各区间的斜率是该区间的刚度。这说明系统的刚度是随着载荷的大小而改变的;

加载和卸载曲线不重合,这说明在这一过程中有能量损失,此能量用以克服零件间的摩擦力所作的功,以及接触面之间的变形所作的功;

卸载后变形曲线回复不到原有位置,这说明有残留塑性变形。反复加、卸载后,塑性变形逐渐减小;

由刀架刚度曲线知,刀架的平均刚度为

$$K_{刀架} = 240/0.052 = 4.6 \times 10^3 \quad (\text{N/mm})$$

这个刚度比较小,只相当于一个 $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 200\text{mm}$ 的铸铁杆悬臂梁的刚度。

一般其他部件的变形情况与此类似。

有以下几个主要因素影响部件的刚度:

(1) 连接表面间的接触变形

在两个表面相接触时,当在法向作用载荷后,两个表面就要趋近,其位移量是表面压强的递增函数,如图 4-7(a)所示。

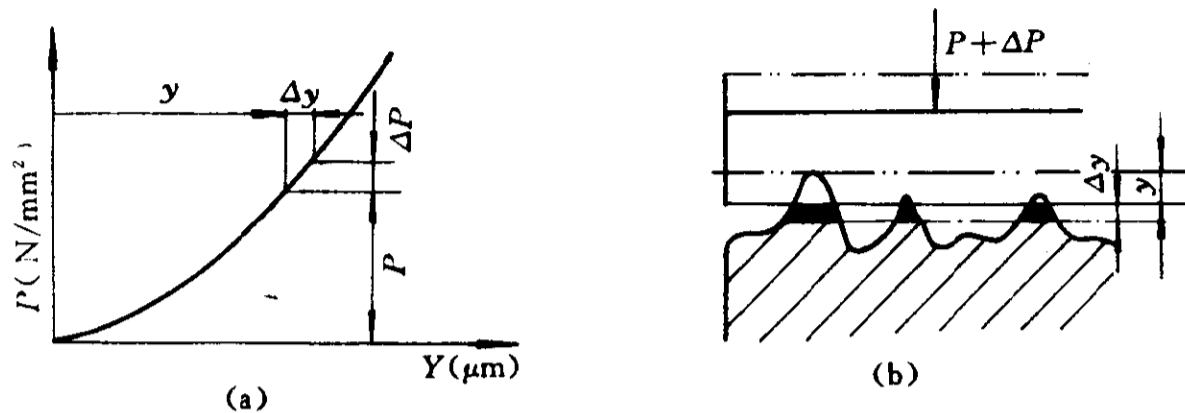


图 4-7 表面接触变形

压强增量 Δp 和位移增量 Δy 之比,称为接触刚度,即:

$$K_c = \Delta p / \Delta y \quad (\text{N/mm}^2 \cdot \mu\text{m})$$

在机械加工后的零件表面上,都有宏观的几何形状误差和微观的粗糙度,所以零件间的接触只是表面粗糙度的个别凸峰的接触,表面的接触变形主要是这些凸峰的变形。如图 4-7(b)所示。

随着法向载荷增加,表面微观凸峰的接触数目逐渐增多,接触的弹性变形也不断增大,当接触应力超过弹性变形的极限时,部分凸峰就产生塑性变形,导致位移量加大。

影响表面接触刚度的主要因素有下述两方面。

① 表面的形状误差和粗糙度

表面的形状误差和粗糙度数值对凸峰接触数起决定性的影响。表面愈粗糙,接触刚度 K_c 愈小。表面形状误差愈小,则实际接触面积愈大。如机床的导轨及某些工件的平面,进行铲刮加工,增多接触斑点数,以提高接触刚度 K_c 的数值。

② 材料硬度

材料硬度对接触变形也有较大的影响,材料硬度愈高,接触变形则愈小。这是因为较硬材料的屈服极限也高,塑性变形小。

(2) 低刚度零件本身的变形

在部件中,往往有个别零件的刚度较低。如刀架和溜板部件中常用的楔铁,由于结构细长,刚性差,加以在制造时不易做得平直准确,因而在工作时接触不良,在外力作用下,楔铁容易产生变形,使刀架系统的刚度大大下降。又如某些轴承套,是薄壁件,由于几何形状不准确而接触不良,而使整个系统的刚度大为降低。

(3) 间隙的影响

若对某部件从正反两个方向加载和卸载时,则其刚度曲线如图 4-8 所示。

在实际加工中,若只是单向受力,在第一次加载后就能消除间隙。若在加工过程中要改变受力的方向时,间隙的位移就要影响加工精度。

2. 工艺系统刚度对加工精度的影响

在机械加工过程中,整个工艺系统处于受力状态,加工后工件的尺寸误差和形状误差,将随系统的受力状态和刚度的变化而变化。对加工精度的影响,一般有下列几种主要的形式。

(1) 切削力大小的改变

由于加工余量和材料硬度的不均匀,会引起切削力和工艺系统受力状态的变化,从而影响工件的加工精度。

图 4-9 所示为加工一个偏心的毛坯,在工件每一转中,切削力将从最小变到最大,再返回到最小,工艺系统的变形也随之而有相应的变化。所以加工后的工件表面,仍是有偏心的。这种现象称为误差复映。

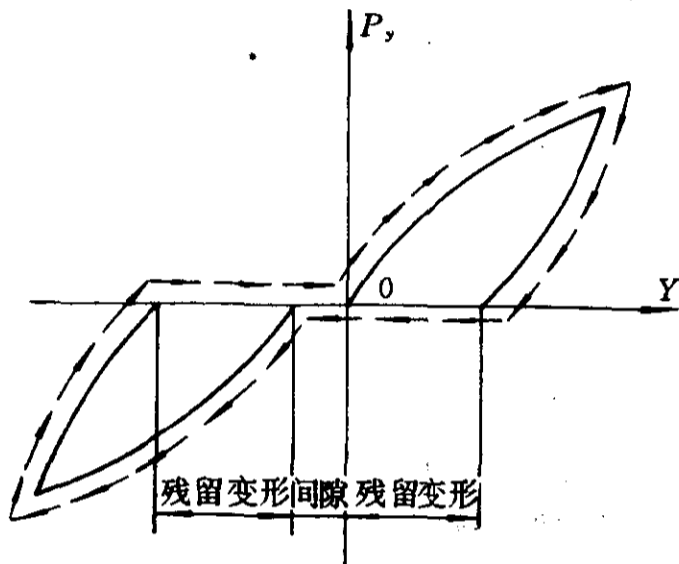


图 4-8 间隙对刚度曲线的影响

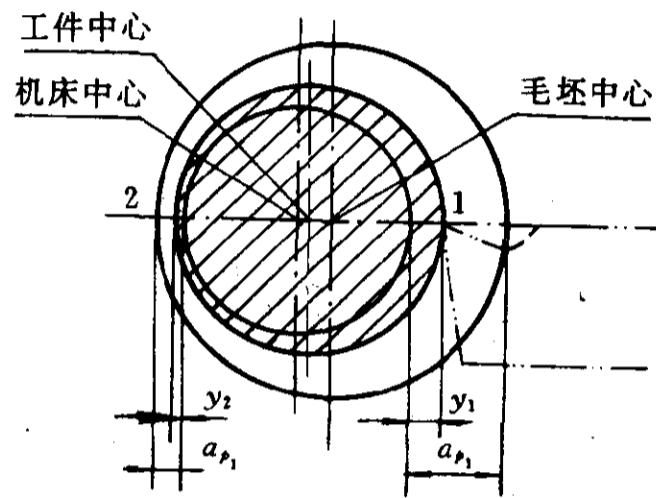


图 4-9 余量不均的毛坯形状误差复映

设最大余量为 a_{p1} , 最小余量为 a_{p2} , 则毛坯的最大余量差 Δa_p 为:

$$\Delta a_p = a_{p1} - a_{p2}$$

由于工艺系统在加工“1”点和“2”点处的刚度可近似地看作相等(K), 则在点“1”, “2”处的变形为:

$$Y_1 = P_{Y1}/K$$

$$Y_2 = P_{Y2}/K$$

因此, 工件的形状误差 Δ 为:

$$\Delta = Y_1 - Y_2 = (P_{Y1} - P_{Y2})/K$$

由切削原理知, 切削分力 P_Y 和切削深度 a_p 成正比, 即

$$P_Y = ca_p$$

式中 c 是一个常数, 所以有

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{1}{K} (P_{Y1} - P_{Y2}) \\ &= \frac{c}{K} (a_{p1} - a_{p2}) = \frac{c}{K} \Delta a_p \end{aligned}$$

即

$$\frac{\Delta}{\Delta a_p} = \frac{c}{K} = \xi$$

由于 c 是一个常数, 所以当工艺系统的刚度 K 一定时, ξ 即为一个常数, 这个常数称为误差复映系数, Δ 则称为复映误差。

误差复映系数 ξ 是一个小于 1 的正数, 当一次走刀后若 Δ 仍超过公差, 则可再走刀一次, 即将第一次的复映误差作为毛坯误差, 经过加工后的第二次复映误差就进一步减小。所以, 毛坯误差的复映程度随着走刀次数的增加而愈来愈小。

(2) 切削力作用点位置的改变

工艺系统的刚度是随受力点的位置改变而变化的。所以, 当切削力作用点改变时, 则使工件在加工后的尺寸不一而产生形状误差。

图 4-10 所示为在车床上两个顶尖间加工轴的情况。

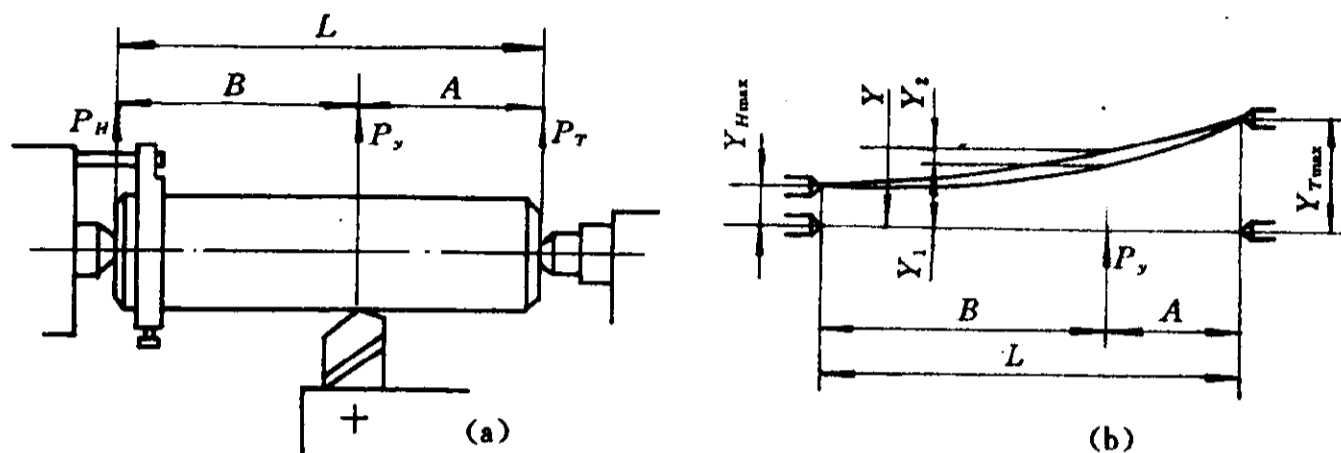


图 4-10 顶尖间加工轴的情况

设 P_Y 不变, 且工件及刀具的刚度极大, 其变形可忽略不计。在切削力作用下, 刀架以及前、后顶尖要产生位移。因为刀架的变形量在工件全长上是一个常数, 所以它只影响工件直径的尺寸精度, 而不会影响工件纵向的几何形状。前、后顶尖的变形则与切削力的作用点位置有关。

设工件全长为 L , 刀具位于距前顶尖 B 处时, 前顶尖处所受的分力 P_H 为:

$$P_H = P_Y \cdot \frac{L - B}{L} = P_Y \cdot \frac{A}{L}$$

式中 $A + B = L$

后顶尖处所受的分力 P_T 为:

$$P_T = P_Y \cdot \frac{B}{L}$$

设前、后顶尖处的刚度分别为 K_H 和 K_T , 则前、后顶尖处的位移分别为:

$$Y_H = \frac{P_H}{K_H} = \frac{A}{L} \cdot \frac{P_Y}{K_H}$$

$$Y_T = \frac{P_T}{K_T} = \frac{B}{L} \cdot \frac{P_Y}{K_T}$$

此时, 前后顶尖的连线就是工件的轴线, 在距前顶尖 B 处轴心线变形的位移量为:

$$\begin{aligned} Y_1 &= Y_H + (Y_T - Y_H) \cdot \frac{B}{L} \\ &= Y_H \cdot \left(1 - \frac{B}{L}\right) + Y_T \cdot \frac{B}{L} \\ &= \frac{P_Y}{K_H} \cdot \left(\frac{L - B}{L}\right)^2 + \frac{P_Y}{K_T} \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2 \end{aligned}$$

$$= \frac{P_Y}{K_H} \cdot \left(\frac{A}{L}\right)^2 + \frac{P_Y}{K_T} \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2$$

当: $B=0$ 时, 前顶尖的变形达最大值;

$B=L$ 时, 后顶尖的变形达最大值。

即:

$$Y_{H \max} = \frac{P_Y}{K_H}$$

$$Y_{T \max} = \frac{P_Y}{K_T}$$

由于加工时工件不可能是绝对刚体, 一定也有变形, 而且有时也会有很大的变形。现设前、后顶尖的刚度极大, 其变形量可忽略不计。在切削力 P_Y 的作用下, 工件要产生弯曲变形, 在工件轴向的不同位置上, 工件弯曲变形的位移量为:

$$Y_2 = \frac{P_Y}{3EJ} \cdot \frac{A^2 \cdot B^2}{L}$$

式中 E ——工件材料的弹性模数;

J ——工件截面的惯性矩。

由于工件在加工时, 机床和工件都有变形, 因此, 影响工件纵向几何形状的变形位移量(见图 4-10(b))为:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

$$= \frac{P_Y}{K_H} \cdot \left(\frac{A}{L}\right)^2 + \frac{P_Y}{K_T} \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^2 + \frac{P_Y}{3EJ} \cdot \frac{A^2 \cdot B^2}{L}$$

(3) 其它作用力的影响

在加工过程中, 除了切削力之外, 还有很多作用力使工艺系统的某些环节产生变形, 从而造成加工误差。

① 夹紧力引起的变形

如图 4-11 中, (a) 为一薄壁套筒, 加工时在三爪卡盘夹紧力的作用下产生了夹紧变形(图(b)), 然后, 对内孔进行加工, 使之成为比较准确的圆形(图(c)), 当工件在卡盘上卸下后, 由于工件的弹性恢复, 孔将出现三角棱圆的形状(图(d)), 因而造成误差。

所以, 对于低刚度的工件, 必须注意夹紧变形的影响。如在加工时, 在工件外圆上加一个开口衬套(图(e))或使用软三爪卡盘(图(f)), 就可以减小夹紧变形。在生产量较大时, 可采用弹簧夹筒或液性塑料夹具, 使夹紧力均匀, 以减小夹紧变形。

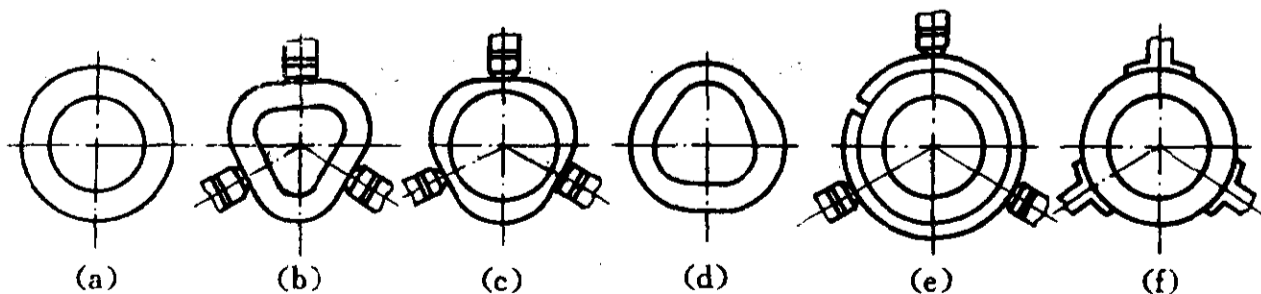


图 4-11 夹紧力引起的形状误差

② 惯性力引起的变形

在高速加工中,如果工艺系统中有不平衡的高速旋转的构件存在,就会产生不平衡的离心力。从而影响变形而造成工件的形状误差。

在这种情况下,一般是采取平衡块的办法而使离心力互相抵消。若难于采取这种方法时,则只能适当地降低转速以减小离心力对加工精度的影响。

③ 工件重力引起的变形

在加工大型工件及组合件时,工件本身的重量较大,由自重引起变形而产生的形状误差,往往是这类加工中产生误差的重要原因。所以在实际生产中,经常采用布置辅助支承来减小其影响。

3. 减小工艺系统受力变形的途径

为减小工艺系统的受力变形,在生产中常用的方法有:提高工艺系统的刚度;减小载荷及其变化。

(1) 提高工艺系统的刚度

提高系统刚度,常用的措施有:

- ① 在结构设计方面,要使系统各环节的零部件的惯性矩大;
- ② 提高配合面的质量,以提高接触刚度;
- ③ 对系统进行合理的调整,以保持适当的预载和合理的间隙;
- ④ 减小系统中支点间的跨度和悬臂的长度,合理地设置辅助支承等。

(2) 减小载荷及其变化

减小切削力和其他作用力及其在加工过程中的变化,对减小受力变形也有很大影响,在生产中常用的工艺措施有:

- ① 合理地选择切削工具的材料及有关几何参数,以减小切削力;
- ② 合理安排热处理,以改善材料的加工性能;
- ③ 选择合理的加工用量;
- ④ 保持均匀的余量,以减小切削力的变化;
- ⑤ 控制夹紧力的大小及其分布,以及减小离心力等。

五、工艺系统的受热变形

在机械加工过程中,工艺系统由于受热而引起变形,从而影响加工精度。尤其是在精密加工时,由于热变形而引起的加工误差,一般占总加工误差的40%~70%。

热,首先是切削加工时产生的切削热,以及机床运动部分的摩擦热和动力源系统所产生的热等,都要影响工艺系统的热变形。另外,从外部的辐射、对流而传来的热,有时也要影响工艺系统的变形。

一般切削热可按下式计算:

$$Q = F_z \cdot v \cdot t \quad (\text{J})$$

式中 F_z ——主切削力(N);
 v ——切削速度(m/s);
 t ——切削时间(s)。

切削热主要由切屑、工件和刀具等介质传导。在切削加工时所产生的切削热,分配给工件、工具和切屑的百分比是随加工方法和加工条件的不同而变化的。

在车削加工时,大量切削热为切屑所带走,而且切削速度愈高,带走的热量也愈多。传给工件的热量一般在 30% 以下,高速加工时,可在 10% 以下。传给工具的热量则更少,一般在 5% 以下。

对于铣削,传给工件的热量,一般在 30% 以下。对于钻孔,因有大量的切屑留在孔内,传给工件的热量,一般在 50% 左右。

至于磨削加工,据试验,传给磨屑的热量相当少,仅为 4% 左右。而大量的热(84% 左右)传给工件,传给砂轮的热则为 12% 左右。因此,磨削时工件表面的温度较高,有时达 800~1000℃,所以要特别注意磨削时工件热变形对精度的影响。

1. 刀具热变形对加工精度的影响

在切削过程中,虽然传给刀具的切削热的百分比不大,但因刀体较小,热容量小,所以刀具仍有相当程度的温升,特别是刀具从刀架悬伸出来的部分,温升较高,受热的伸长量也较大。

车刀在加工时的伸长量如图 4-12 中曲线 A 所示。从曲线可以看出,开始切削时温升较快,伸长也较快。以后温升逐渐减缓,直至热平衡。

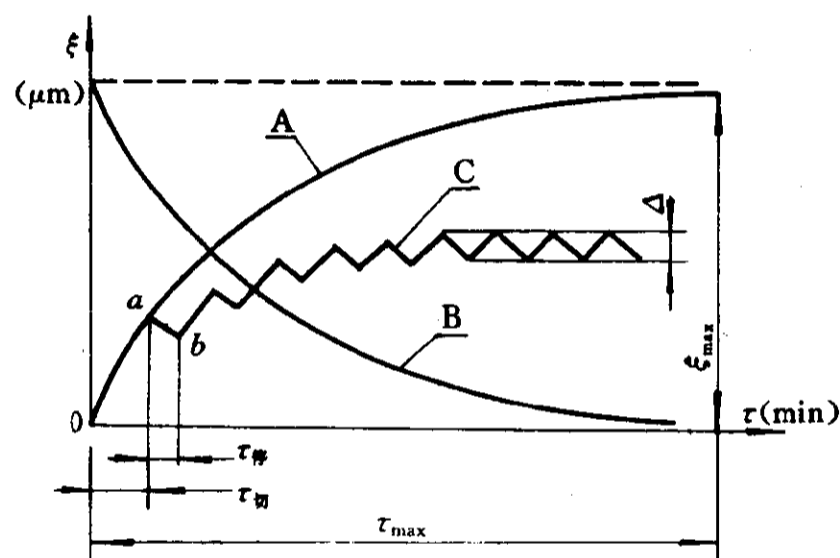


图 4-12 车刀热伸长曲线

当切削停止后,刀具温度立刻下降,开始时冷却较快,而后逐渐减缓,如图 4-12 中曲线 B 所示。

在一般情况下,刀具的切削工作是间断的,即在装卸工件等非切削的时间内,刀具有一段冷却时间。

在切削时间内,刀具由 0 点伸长到 a 点,在非切削时间内,温度下降,刀具由 a 缩减至 b 点,随着加工的继续进行,伸长与缩短渐趋稳定。经过一段时间后达到热平衡,最后保持在 Δ 范围内变动。如图 4-12 中曲线 C 所示。所以,在间断切削时,刀具的变形量较连续切削时为小。

在采用其它加工方法切削时,也会发生刀具的热变形问题。多齿刀具属于间断切削,温升及变形量较连续切削时小些。

刀具热变形要影响工件的尺寸。连续加工时则要影响几何形状,如车长轴时可能要产生锥度。

为了减小刀具的热变形,应合理地选择切削用量和刀具切削的几何参数,而更重要的措施则是使用冷却液。

2. 工件热变形对加工精度的影响

在加工过程中,工件受切削热的影响而产生热变形,当工件均匀受热时,一般只引起工件尺寸的变化。在稳定的温度场中,工件热变形可按下列计算:

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta t \quad (\text{mm})$$

式中 α ——工件的线胀系数 (1/°C);

Δt ——工件温升 (°C);

L ——热变形方向的工件尺寸。

如磨削轴套(钢, $\alpha = 1.17 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)外径时,直径为 $\phi 112\text{mm}$,磨削时工件温度由室温 18°C 均匀地升到 37°C ,则:

$$\begin{aligned} \Delta d &= 1.17 \times 10^{-5} \times 112 \times (37 - 18) \\ &= 0.025(\text{mm}) \end{aligned}$$

即该工件在机床上(37°C 时)测 $\phi 112_{-0.155}^{+0.120}$ 的尺寸后,当冷却至室温(18°C 时)时,直径将减小 0.025mm 。

轴套外径尺寸 $\phi 112$ 的精度为 IT7 级,公差为 0.035mm ,如今 19°C 的温度变形就占整个公差的 70%,所以在精加工时应特别注意温度变形的影响。

由于工件受热后的变形与材料的线胀系数、工件尺寸及温差有关,而在航空、航天产品的生产中,大尺寸的铝、镁合金零件又较多,因铝、镁合金的线胀系数约为钢材的两倍左右,所以受热而引起的变形量也大得多。因此,在工艺设计中应特别注意。

在切削过程中,工件往往不是均匀地受热,这将因各部位变形不同而造成形状误差。

另外,在装夹工件时,也应考虑加工时由于受热而引起的膨胀问题,若没有伸长的余地,则工件就要在刚度较低的方向产生变形,从而造成形状误差。

为减小工件热变形对加工精度的影响,可采取下列工艺措施:

- (1) 切削区进行充分的冷却;
- (2) 提高切削速度,使传入工件的热量减少;
- (3) 及时刃磨刀具,以减少切削热;
- (4) 加工及检测前进行足够的冷却;
- (5) 在夹紧状态下,有伸缩的余地。

3. 机床热变形对加工精度的影响

由于机床的结构和工作条件是很不相同的,所以引起机床热变形的情况也是多种多样的。不均匀的温度场,导致不同程度的热变形,从而影响加工过程中工件和切削工具的相对位置,而使加工精度下降。

机床热变形对加工精度的主要影响因素是:

- (1) 主轴位置的变化;
- (2) 影响切削工具和工件位置的传动丝杠的伸长;
- (3) 导轨和工作台的翘曲等。

在加工比较精密的工件时,为减少机床热变形的影响,常在加工前使机床空转一段时间,待基本达到热平衡后再进行加工。

当室温变化对加工精度有较大的影响时,可采取恒温加工与测量,以减少因温差与线胀系数不同而产生的误差,这对精密零件的加工是必要的。

六、工件内应力引起的变形

内应力是在没有外加载荷的情况下,存在于工件材料内部的应力。

工件经过冷热加工后,一般都要产生内应力。如毛坯的锻、铸、淬火热处理、冷校正和切削加工等,都会在不同程度上使工件产生内应力。在通常情况下,内应力处于平衡状态,对具有内应力的工件进行切削加工时,工件内应力原有的平衡状态遭到破坏,在重新平衡时,将使工件产生变形。

如某型发动机的涡轮叶片,在进行机械加工后,叶身型面留有 0.04mm 的抛光余量。当均匀地抛去叶盆的 0.04mm 余量后,叶型产生了变形,叶盆最低点向上变形了 0.04mm,当继续在叶背上均匀地抛去 0.04mm 的余量后,叶盆最低点又向下变形了 0.07mm。因此,叶盆由于内应力变形的影响,其最低点向下变形了 0.03mm。如图 4-13 所示。

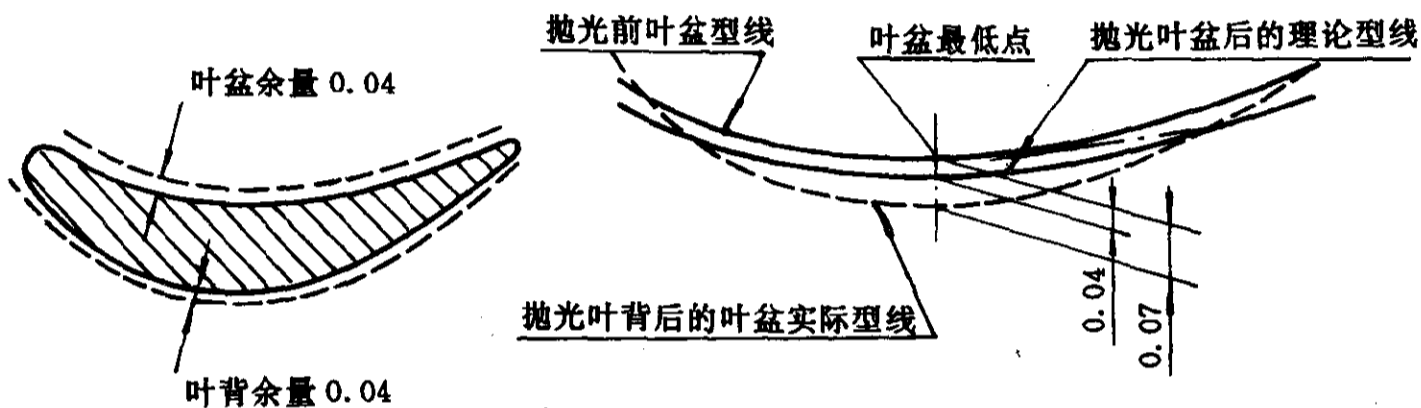


图 4-13 涡轮叶片的内应力变形

当工件表面的内应力超过材料的强度极限时,就会产生裂纹。

内应力对加工精度和表面质量都有很大的影响。有时为了提高抗疲劳强度,可采用专门的工艺方法(如喷丸和滚压等),使表面获得残余压缩应力。但必须注意,内应力的平衡过程是比较缓慢的。当工件的刚度较低时,就会慢慢地产生变形。

如某型压气机二级工作叶片,在喷丸(玻璃丸, $\phi=0.05\text{mm}$)强化后,叶型对榫头的偏移值 $\delta=0.34\text{mm}$,72 小时以后, $\delta=0.27\text{mm}$,经过 720 小时以后,测得偏移值为 0.2mm (图 4-14)。

由此可见,对于精度要求高的低刚度工件,必须采取措施,以减小内应力变形对加工精度的影响。

在生产过程中,为减小内应力变形对精度的影响,常采取下列工艺措施:

(1) 适当安排热处理工序,如高温时效、低温时效等,以消除或减小热加工和切削加工(主要是粗加工)所产生的内应力。对于精密零件,有时安排多次时效热处理以消除内应力,使其变形减小和尺寸稳定;

(2) 将工艺过程划分成阶段加工,使内应力对变形的影响逐渐减小;

(3) 控制加工用量和切削工具的磨损情况,使工件在加工过程中产生的内应力变形得以

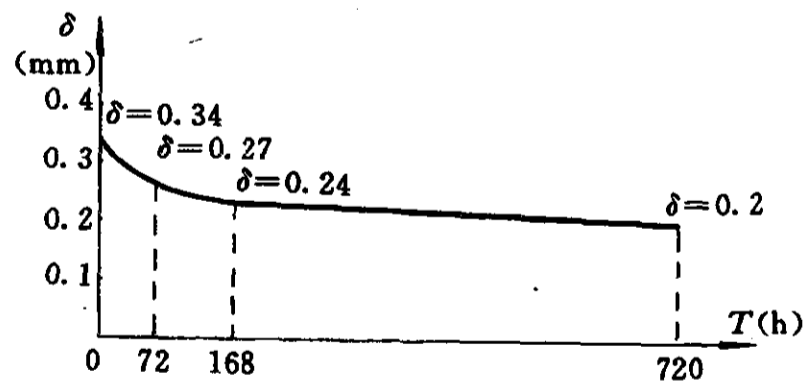


图 4-14 压气机二级工作叶片喷丸后的变形

控制；

(4) 采用某些特种工艺方法,如电解加工、电抛光和化学铣切等,以减小或消除因本工序加工而产生的内应力。

§ 4-3 加工误差的统计分析

一、概 述

引起加工误差的因素很多且很复杂。为分析一批工件的加工是否正常、稳定,不能以某一个工件的检验结果来判断,而需要对一批工件的误差进行统计分析,才能得出正确的结论。

根据一批工件的误差出现规律,误差可分为系统误差和随机误差两类。

1. 系统误差

顺次加工一批工件时,误差的大小和方向始终保持不变,或按照一定的规律逐渐变化,称为系统误差。前者称为常值系统误差,后者称为变值系统误差。

如铰孔时,铰刀直径不正确所引起的工件误差就是常值系统误差。又如在车削加工时,由于刀具的磨损所引起的工件误差,则是变值系统误差。工艺系统中某些环节的温度变形,也会引起变值系统误差。

2. 随机误差

顺次加工一批工件时,误差的大小和方向不规则地变化着,这种误差称为随机误差(或称偶然性误差)。

如用铰刀铰孔时,在相同的加工条件下,孔径的尺寸仍然不同。这可能是由加工余量有差异、材料的硬度有不均等因素所引起的。这些因素是变化的,作用的情况又很复杂,所以一般常采用数理统计的方法来分析随机误差的影响,从而采取必要的工艺措施来加以控制。

在生产实践中,常用统计法来研究机械加工精度。这种方法是以现场观察和实测有关的数据为分析基础的,用概率和统计的方法对这些数据进行处理,从而揭示各种因素对加工精度的综合影响。

常用的统计分析方法有:分布曲线法和点图法。

二、分布曲线法

分布曲线法是测量一批工件在加工后的实际尺寸,根据测量所得到的数据作尺寸散布的直方图,得到实际的分布曲线,然后根据公差要求和分布情况进行分析。

分布曲线的绘制方法如下:

测量加工后 n 个工件的尺寸 $X_i (i=1, \dots, n)$, 按实际尺寸以组距 ΔX 分为 j 组, 各组内工件的数目 m_i 称为频数, 频数和工件总数的比值 m_i/n 称为频率。以尺寸为横坐标, 频数(或频率)为纵坐标, 即可绘制出尺寸分布的直方图。

如磨削 100 个工件, $X = \phi 80_{-0.03}$, $\Delta X = 0.002\text{mm}$, 工件尺寸的频数分布如表 4-2 所列。

表 4-2 频数分布表

组号 j	尺寸范围 (mm)	频 数 分 布				频数 m_i	频率 m_i/n
		5	10	15	20		
1	79.988~79.990					3	0.03
2	79.990~79.992					6	0.06
3	79.992~79.994					9	0.09
4	79.994~79.996					14	0.14
5	79.996~79.998					16	0.16
6	79.998~80.000					16	0.16
7	80.000~80.002					12	0.12
8	80.002~80.004					10	0.10
9	80.004~80.006					6	0.06
10	80.006~80.008					5	0.05
11	80.008~80.010					3	0.03
总计						100	1.00

根据表中数据,即可绘制出如图 4-15 所示的直方图。

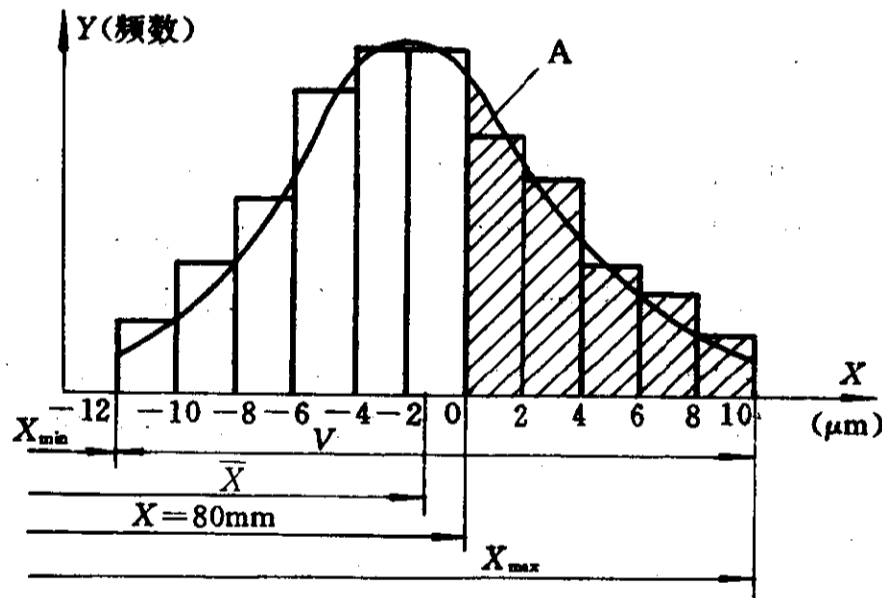


图 4-15 尺寸分布直方图

当所取工件数增加而尺寸分组的组距取得很小时,直方图将接近于光滑的曲线,如在图 4-15 中的曲线 A 所示。

在数理统计中,表示一批工件尺寸分布的状态,可用二个数字特征来代表,即:

算术平均值:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^j X_i m_i$$

标准差:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2 m_i}$$

式中 X_i ——第 i 组工件的组中值;

m_i ——第 i 组工件的频数；

j ——分组的组数。

在上例中,平均尺寸(\bar{X})为:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{78.889 \times 3 + 79.991 \times 6 + \dots + 80.009 \times 3}{100} \\ &= 79.9985(\text{mm})\end{aligned}$$

标准差为:

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{\frac{(79.889 - 79.9985)^2 \times 3 + \dots + (80.009 - 79.9985)^2 \times 3}{100}} \\ &= 0.0048(\text{mm})\end{aligned}$$

由直方图和上述计算可知,包络直方图的线,就是实际分布曲线。算术平均值,亦即平均尺寸 \bar{X} 表示曲线的分布中心,是误差的集积中心,它可以决定整个分布曲线的位置。由上述计算知, $\bar{X} = 79.9985\text{mm}$ 。而公差带中心是在 79.985mm 处。两者并不重合,相差 0.0135mm 。

该批工件的尺寸散布界,即最大尺寸与最小尺寸之差为:

$$\begin{aligned}V &= X_{\max} - X_{\min} \\ &= 80.010 - 79.988 = 0.022 \quad (\text{mm})\end{aligned}$$

虽然散布界(0.022)小于工件的公差值(0.03),但由于平均尺寸和公差带不重合,所以还是出现了部分废品(图中阴影部分)。

在数理统计中, S 是代表所测这一部分工件的标准差,通常称为样本标准差,由于总体的标准差 σ 一般难于计算,所以通常用 S 来代表 σ 进行计算。

S (或 σ)表示该批工件的尺寸与算术平均值 \bar{X} 的偏离程度, S 越大,则工件尺寸偏离 \bar{X} 越远,即尺寸分散度大,加工误差大。 S 越小,靠近平均尺寸的工件数就越多。而散布界只能确定分散的范围。如图 4-16 所示的两种散布情况,虽然散布界相同,但 $\sigma_1 < \sigma_2$,所以第一种情况的分布,其靠近平均尺寸的工件频数也较大。

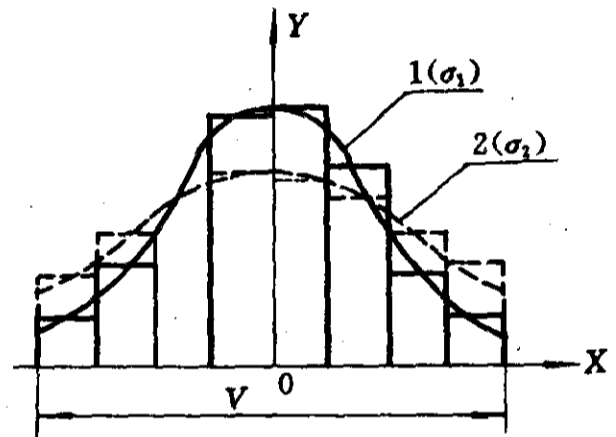


图 4-16 标准差对散布的影响

由上述分析知, \bar{X} 和 S 这两个数字特征,可以用来描述所测工件尺寸的分布情况,即分布的中心位置和分散度。

为便于分析研究,并导出一般规律,应建立对实际分布曲线进行数学描述的数学模型。由数理统计知,相互独立的大量微小的随机变量总和的分布,总是接近于正态分布(高斯分布)的。实践证明,用自动获得尺寸精度法在机床上加工一批工件时,在无某种优势的因素影响时,加工后尺寸的散布,是符合正态分布的。

正态分布的概率分布密度函数为:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < X < \infty, \sigma > 0)$$

式中 μ ——随机变量总体的算术平均值;

σ ——随机变量总体标准差。

正态分布的曲线图形如图 4-17 所示。

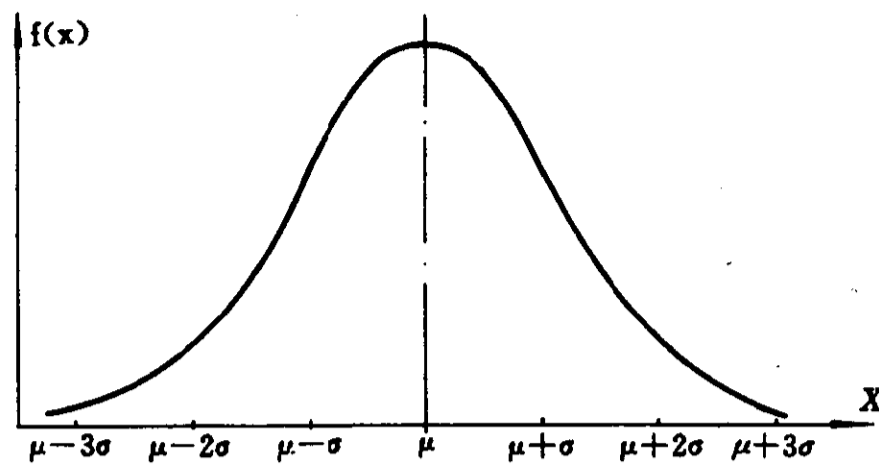


图 4-17 正态分布曲线

正态分布的特性如下。

- (1) 正态分布曲线为钟形, 曲线以 X 轴为渐近线。曲线对称于 $X = \mu$ 这一直线。
- (2) 曲线在 $X = \mu$ 时, 具有极大值:

$$f(\mu) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^0 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}$$

- (3) 曲线的数字特征 μ 与 σ , 决定了曲线的位置和形状。

如果改变 μ 值, σ 为常数, 则分布曲线将沿横坐标移动而不改变曲线形状, μ 是表征曲线的位置的, 如图 4-18(a) 所示。

如果改变 σ 值, 因为 $f(\mu)$ 与 σ 成反比, 所以 σ 愈小, 则 $f(\mu)$ 愈大, 曲线形状愈陡, σ 愈大, 则曲线形状愈平坦, 所以 σ 是表征曲线形状的, 如图 4-18(b) 所示。

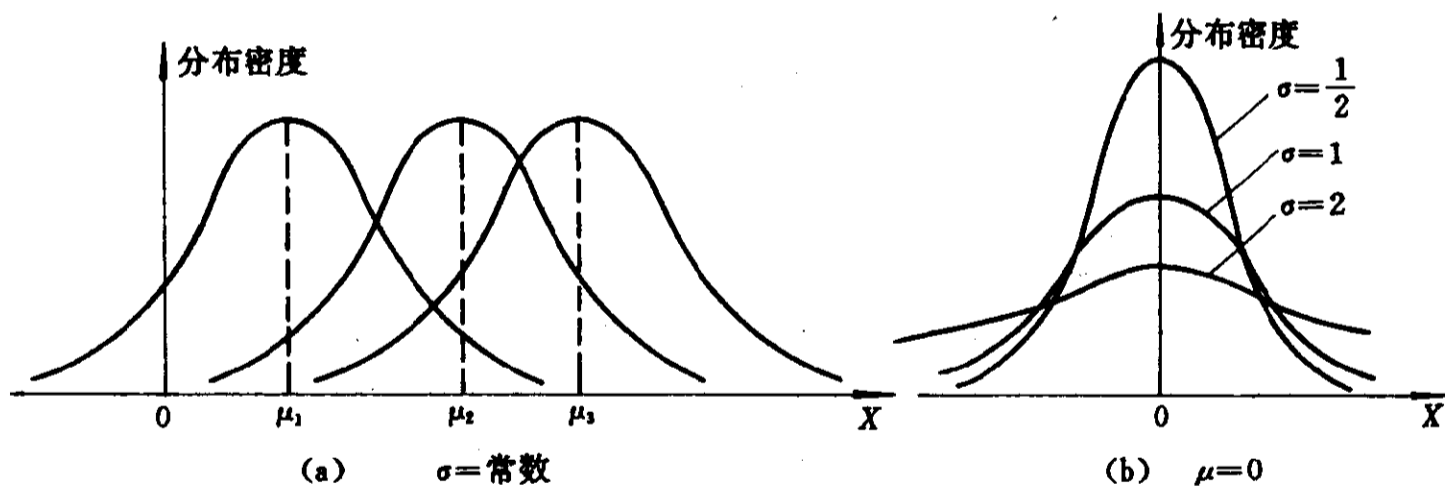


图 4-18 μ, σ 值对分布曲线的影响

- (4) 正态分布曲线 $X = \mu \pm \sigma$ 处有两个拐点, $(\mu - \sigma) < X < (\mu + \sigma)$ 时, 曲线是凸的, 在其他区间, 曲线是凹的。
- (5) 正态分布曲线下面所包含的面积为:

$$F(X) = \int_{-\infty}^{\infty} f(X) dX = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} dX$$

$$= 1$$

当 $X = \pm 3\sigma$ 时:

$$F(X) = 0.9973 = 99.73\%$$

即绝大部分面积在 $X = \pm 3\sigma$ 的范围内。

算术平均值 $\mu=0$, 标准差 $\sigma=1$ 的正态分布曲线, 记为 $N(0, 1)$, 称为标准正态分布曲线。

任何不同的 μ 与 σ 的正态分布曲线, 均可通过坐标变换, 即 $Z = (X - \mu) / \sigma$, 将其变为标准正态分布。因此, 就可以用标准正态分布的函数值来求定各种正态分布的函数值。

当横坐标用 Z 以后, 在新坐标系下的概率分布密度函数为:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}}$$

如果要求从 $-Z$ 到 Z 区间的概率, 即为此区间内正态分布曲线与横坐标之间的面积:

$$F(Z) = \int_{-Z}^Z f(Z) dZ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-Z}^Z e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ$$

各种不同 Z 值的 $F(Z)$ 值, 可由表 4-3 查出。

表 4-3 $F(Z)$ 数值表 ($Z = (X - \mu) / \sigma$)

Z	$F(Z)$	Z	$F(Z)$
0.00	0.0000	1.70	0.9108
0.05	0.0398	1.80	0.9282
0.10	0.0796	1.90	0.9426
0.20	0.1586	2.00	0.9544
0.30	0.2358	2.10	0.9642
0.40	0.3108	2.20	0.9722
0.50	0.3830	2.30	0.9786
0.60	0.4514	2.40	0.9836
0.70	0.5160	2.50	0.9876
0.80	0.5762	2.60	0.9906
0.90	0.6318	2.70	0.9930
1.00	0.6826	2.80	0.9948
1.10	0.7286	2.90	0.9963
1.20	0.7698	3.00	0.9973
1.30	0.8064	3.10	0.9981
1.40	0.8384	3.20	0.9986
1.50	0.8664	3.30	0.9990
1.60	0.8904	3.40	0.9993

从表中可以看出:

$$Z = 0.7 \text{ 时 } F(Z) = 51.60\% \approx 50\%$$

$$Z = 1.1 \text{ 时 } F(Z) = 72.86 \approx 75\%$$

$$Z = 3.0 \text{ 时 } F(Z) = 99.73\%$$

当 $Z=3.0$, 即 $X = \mu \pm 3\sigma$ 以外的概率只占 0.27% , 这个数值很小, 在工程上一般可忽略不计。因此, 若尺寸散布符合正态, 并对称于公差带的中值, 则规定的公差 $\delta \geq 6\sigma$ 时, 可以认为产生废品的概率很小而可以忽略不计。

当采用理论分布曲线代替实际加工尺寸的分布曲线时,密度函数的各参数可以分别取为 X ——工件尺寸;

μ ——工件的平均尺寸, $\mu = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^j X_i m_i$;

σ ——标准差, $\sigma = S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2 m_i}$;

n ——工件总数。

为了使实际分布曲线能与理论曲线相比较,在绘制实际分布曲线时,纵坐标不采用频数而采用分布密度:

$$\begin{aligned} \text{分布密度} &= \frac{\text{频数}}{\text{工件总数} \times \text{组距}} \\ &= \frac{\text{频率}}{\text{组距}} \end{aligned}$$

在采用分布密度后,直方图中每一矩形面积就等于该组距内的频率,所有矩形面积之和将等于1。

利用分布曲线,可对某些加工情况进行分析和判断。一般常用于下述几种情况。

① 判别加工误差的性质

在加工测量、统计并绘制出直方图后,即可计算 \bar{X} 和 S 值。当 \bar{X} 值和公差带中心有偏离时,应从系统误差方面的影响去进行分析。若 $6S$ 的数值比公差大,则应从随机误差来分析影响因素。

② 分析工艺能力

工艺能力是指工序所用的加工方法、设备、工艺装备及调整方法等对工件加工质量的控制能力。常用工艺能力系数 C_p 来评定:

$$C_p = \delta / 6\sigma$$

式中 δ ——工序公差;

σ ——工序加工精度的标准差。

所以 C_p 值的意义是表示工序公差和加工误差之比。 C_p 大,工艺能力强。一般根据 C_p 值的大小,分为五个等级。

特级: $C_p > 1.67$, ($\delta > 10\sigma$), 工艺能力过高,不经济;

一级: $1.67 > C_p > 1.33$, ($\delta = (8 \sim 10)\sigma$), 工艺能力足够;

二级: $1.33 > C_p > 1.00$, ($\delta = (6 \sim 8)\sigma$), 工艺能力一般;

三级: $1.00 > C_p > 0.67$, ($\delta = (4 \sim 6)\sigma$), 工艺能力不足,要产生废品;

四级: $0.67 \geq C_p$, ($\delta \leq 4\sigma$), 工艺能极差,无法使用。

在机械工业部门,特别是航空、航天工业部门,常采用一、二级工艺能力,以保证质量。不允许使用三、四级工艺能力。

③ 计算合格品和废品率

〔例1〕一批工件加工后的尺寸散布符合正态分布,参数 $\mu = 0$, $\sigma = 0.005\text{mm}$,公差 $\delta = 0.02\text{mm}$,公差带中值位于 $\mu = 0$ 处,求废品率。

解:

因为公差 $\delta=0.02$, 所以允许的散布界为 $X=\pm 0.01$,

所以 $Z = 0.01/0.005 = 2$

由表 4-3 可知:

$$F(Z) = 0.9544$$

所以废品率为:

$$P = 1 - 0.9544 = 0.0456 = 4.56\%$$

〔例 2〕 一批工件的工序尺寸要求是 $20^{+0.1}$, 加工后的尺寸散布符合正态分布, 其标准差为 0.025mm , 曲线散布中心的位置相对于公差带的中值位置右偏了 0.03mm (如图 4-19 所示), 求废品率。

解:

合格的工件按散布中心分为两部分来计算, 其面积如图 4-19 中的 A 和 B 所示。

由于:

$$X_A = \delta/2 + 0.03 = 0.08(\text{mm})$$

$$X_B = \delta/2 - 0.03 = 0.02(\text{mm})$$

所以有:

$$Z_A = X_A/\sigma = 0.08/0.025 = 3.2$$

$$Z_B = X_B/\sigma = 0.02/0.025 = 0.8$$

查表 4-3 得:

$$Z_A = 3.2, F(Z_A) = 0.9986$$

$$Z_B = 0.8, F(Z_B) = 0.5762$$

所以全部合格品为:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}[F(Z_A) + F(Z_B)] &= \frac{1}{2}[0.9986 + 0.5762] \\ &= 78.74\% \end{aligned}$$

所以废品率为:

$$P = 1 - 0.7874 = 0.2126 = 21.26\%$$

由于公差带的中值和散布中心不重合, 所以废品率较大。若在加工时进行必要的调整, 使散布中心和公差带的中心重合, 则其废品率就可大为下降。即:

$$X = \pm \delta/2 = \pm 0.05$$

所以

$$Z = 0.05/0.025 = 2$$

则

$$F(Z) = 0.9544$$

所以废品率为:

$$P = 1 - 0.9544 = 0.0456 = 4.56\%$$

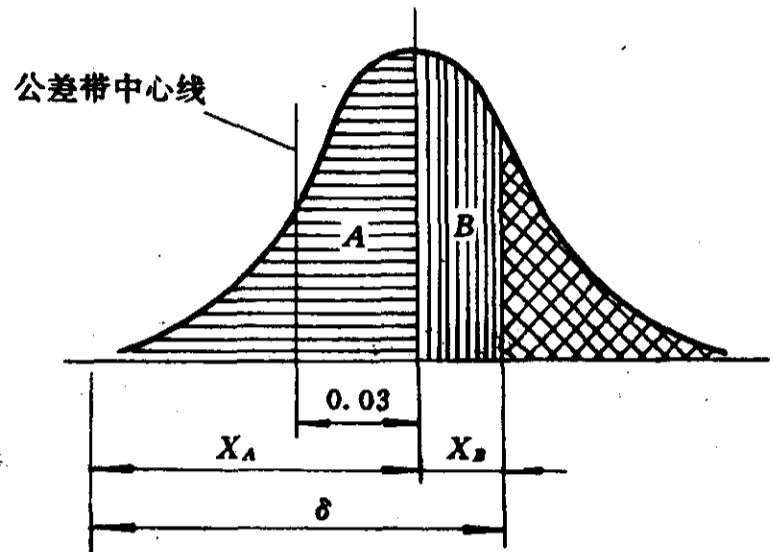


图 4-19 工序尺寸 $20^{+0.1}$ 的分布

在实际加工中,工件尺寸的散布有时并不符合正态分布。如切削工具有急剧磨损时,其尺寸散布如图 4-20(a)所示。因为在加工过程中每一短时间内工件的尺寸可能符合正态分布,但由于切削工具的急剧磨损,不同时间的算术平均值 \bar{X} 是变化的,因此,分布曲线出现平顶现象。当工艺过程存在着较显著的温度变形影响时,由于热平衡之前,开始阶段的变化较快、以后会逐渐减缓,所以出现分布不对称的情况,如图 4-20(b)所示。若将两次调整下加工的工件合在一起,由于 μ 值不等而出现双峰曲线,如图 4-20(c)所示。

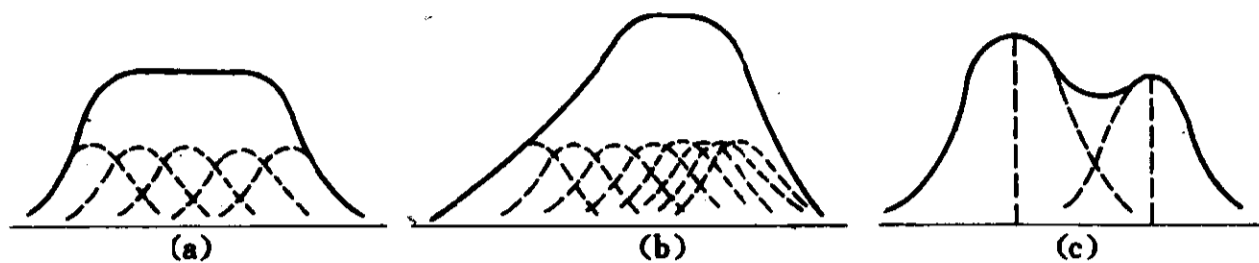


图 4-20 几种非正态分布曲线

非正态分布曲线的散布范围不能用 6σ 来表示,而应进行修正,需除以相对分布系数 k (即 $6\sigma/k$), k 值的大小与分布图有关,其数值可参阅表 4-4。

表 4-4 各种分布的 k 值

	正态分布	辛浦生分布	等概率分布	平顶分布	不对称分布
分布曲线简图					
k	1.0	1.22	1.73	1.1~1.5	1.1~1.3

由以上分析可知,利用分布曲线可以分析某一加工方法的精度、系统误差和随机误差的情况。但由于没有考虑到工件加工的先后顺序,因此不能很好地区分变值误差和随机误差。另外,要绘制分布曲线,必须要把一批工件加工完毕以后才能进行,因此,这种方法不可能在加工过程中提供控制加工过程的信息。

三、点图法

按加工顺序逐个测量工件的尺寸,以工件加工的顺序号为横坐标,工件的尺寸为纵坐标,则整批工件的加工结果可画成点图,每个工件画一点,如图 4-21 所示。

若将一批工件分成几个组,每个组包括 m 个依次加工的工件,纵坐标仍为工件的尺寸,横坐标则为组的顺序号,所画点图的长度就可以大大缩短。此时,组内 m 个工件的点位于同一条垂直线上,如图 4-22(a)所示。有时为了更清楚地表示出加工过程尺寸变化的倾向,可以用组内 m 个工件的平均尺寸来绘制点图,此时, m 个工件用一个点来表示。如图 4-22(b)所示。

从点图中可以看出加工过程的情况,如是否存在常值或变值系统误差、随机误差的大小及其变化规律。所以可以用点图来判断工艺过程的稳定性,并可在加工过程中提供控制加工质量的信息。

用绘制的点图,再根据一定的概率标准,可制定出质量控制图,用以判断工艺过程的稳定性和误差变化的情况。

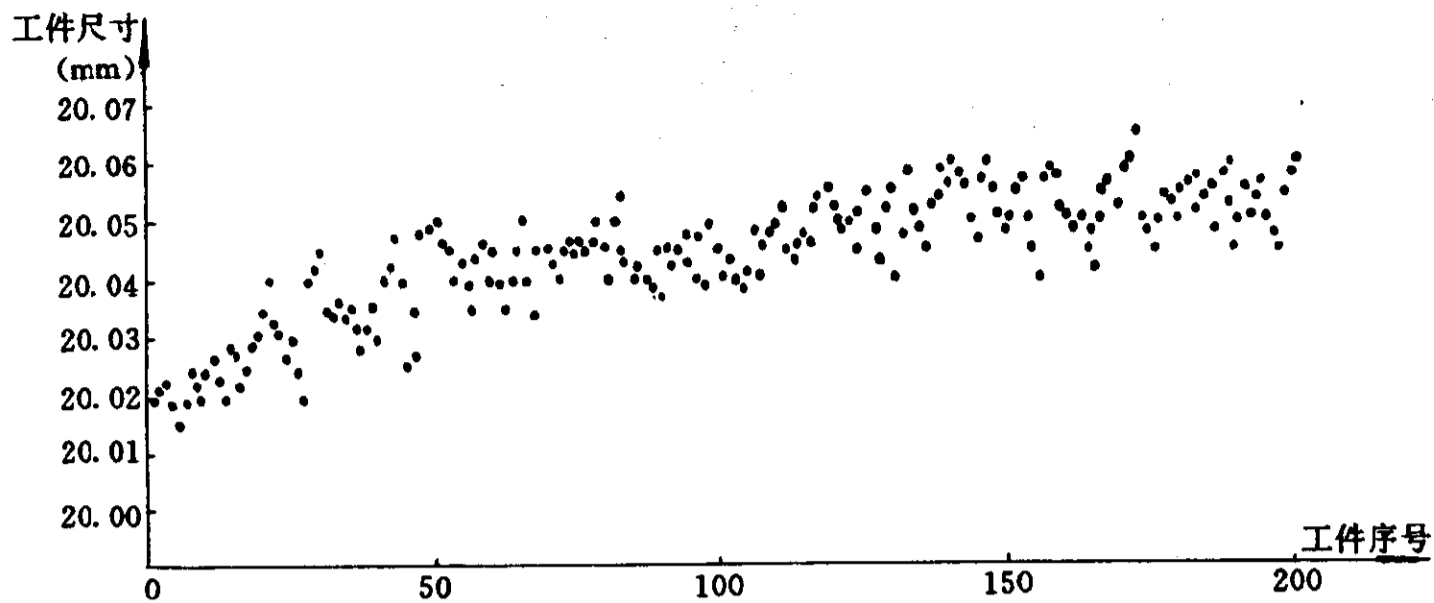


图 4-21 工件尺寸的点图

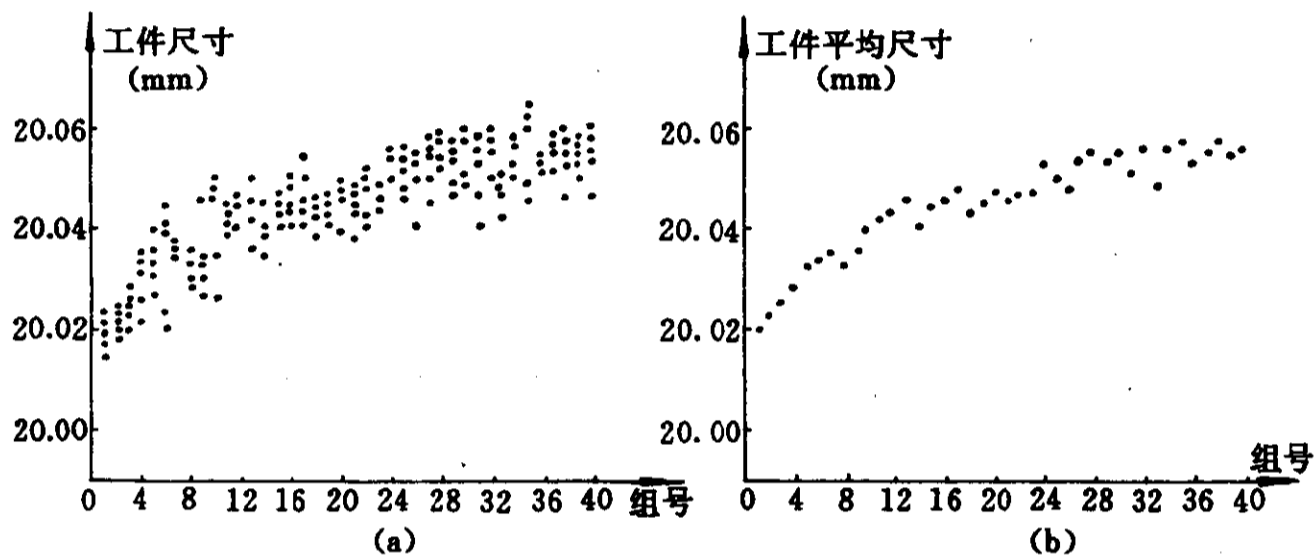


图 4-22 按组绘制的点图

在数理统计中,称研究对象的全体为总体,而其中每一个单位则称为个体。总体的一部分称为样本,样本中所含的个体数称为样本容量。

在加工过程中,每隔一定的时间随机抽查几个工件的尺寸,作为一个随机样本,经过一段时间后,就得到若干个样本,样本中各个体 X_1, X_2, \dots, X_m 的平均数称为样本均值,记作 \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$$

式中 m ——样本容量。

样本个体中的最大值与最小值之差,称为极差,记作 R :

$$R = \max\{X_1, X_2, \dots, X_m\} - \min\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$$

式中 $\max\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ ——样本中最大个体的值;

$\min\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ ——样本中最小个体的值。

由数理统计知,总体的分布近似于正态分布,则样本均值 \bar{X} 的分布也接近于正态分布。因此,一般常采用样本均值来反映总体的情况。

但是,只有一个样本均值来反映分布特征,只能说明分布的位置,因此还必须要有一个反映离散程度的指标。在实践中为便于计算,常采用极差来度量,所以最常见的质量控制图是采用

用均值 \bar{X} 和极差 R 的数据作成的,常称为 $\bar{X}-R$ 图。

图 4-23 为导套的 $\bar{X}-R$ 图。

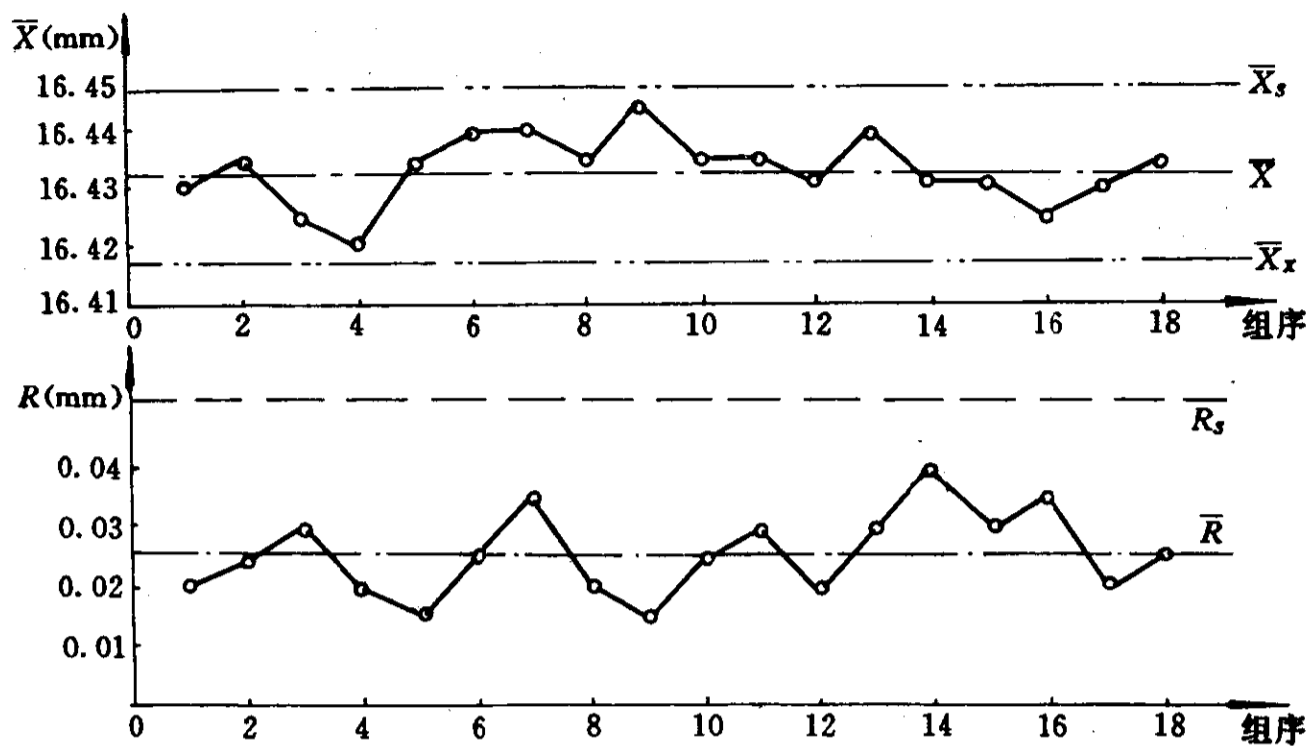


图 4-23 导套的 $\bar{X}-R$ 图

该工件内孔的加工尺寸为 $\phi 16.4^{+0.07}$ mm。样本容量 $m=5$,共有 18 个随机样本。图 4-23 所用的均值 \bar{X} 和极差 R 的数据,列于表 4-5 中。

表 4-5 导套样本的均值和极差

样本号	均值 \bar{X}	极差 R	样本号	均值 \bar{X}	极差 R
1	16.430	0.020	10	16.435	0.025
2	16.435	0.025	11	16.435	0.030
3	16.425	0.030	12	16.430	0.020
4	16.420	0.020	13	16.440	0.030
5	16.435	0.015	14	15.430	0.040
6	16.440	0.025	15	16.430	0.030
7	16.440	0.035	16	16.425	0.035
8	16.435	0.020	17	16.430	0.020
9	16.445	0.015	18	16.435	0.025

在 $\bar{X}-R$ 图上,有中心线和控制线,控制线是用以判断该工序的加工情况是否稳定的界限线。

$$\bar{X} \text{ 图的中心线为: } \bar{\bar{X}} = \sum_{i=1}^j \bar{X}_i / j$$

$$R \text{ 图的中心线为: } \bar{R} = \sum_{i=1}^j R_i / j$$

式中 j ——样本数;

\bar{X}_i ——第 i 组的样本均值;

R_i ——第 i 组的样本极差。

控制线的位置可按下列公式计算。

$$\bar{X} \text{ 图的上控制线: } \bar{X}_s = \bar{\bar{X}} + A\bar{R};$$

$$\bar{X} \text{ 图的下控制线: } \bar{X}_x = \bar{\bar{X}} - A\bar{R};$$

$$R \text{ 图的上控制线: } R_s = D_4\bar{R};$$

$$R \text{ 图的下控制线: } R_x = D_3\bar{R}.$$

式中 A, D_3, D_4 的数值是由数理统计原理定出的, 与样本容量有关。一般 m 取 4 或 5, 分布愈接近于正态, 样本容量可以取得愈小。

A, D_3, D_4 的数值如表 4-6 所示。

表 4-6 A, D_3, D_4 系数值

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1.880	1.023	0.729	0.577	0.483	0.419	0.373	0.337	0.308
D_3	0	0	0	0	0	0.076	0.136	0.184	0.223
D_4	3.267	2.575	2.282	2.115	2.004	1.924	1.864	1.816	1.777

据表 4-5 的数值, 计算如下:

$$\bar{\bar{X}} = \sum_{i=1}^j \bar{X}_i / j = 16.433 \quad (\text{mm})$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^j R_i / j = 0.0256 \quad (\text{mm})$$

查表 4-6, 当 $m=5$ 时, 得:

$$A = 0.577$$

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2.115$$

所以

$$\bar{X}_s = 16.433 + 0.577 \times 0.0256 = 16.448 \quad (\text{mm})$$

$$\bar{X}_x = 16.433 - 0.577 \times 0.0256 = 16.418 \quad (\text{mm})$$

$$R_s = 2.115 \times 0.0256 = 0.054 \quad (\text{mm})$$

$$R_x = 0$$

从质量控制图上可以看出, 图中的点都没有超出控制线, 说明本工序的加工工艺是稳定的。若有点超出控制线或有趋向要超出控制线则工艺是不稳定的。亦即一个过程(如一个工序)的质量参数, 其算术平均值 \bar{X} 和标准差 S (或近似地用极差 R) 在整个过程中若能保持不变, 则过程是稳定的, 否则是不稳定的过程。

由于一些重要机械产品的质量要求极高, 而且产品的成本也高, 对于不稳定的工艺过程, 常需要分析其原因并采取相应的工艺措施而使工艺过程稳定, 而不能采用加大废品的概率的办法来制订质量控制线。

在机械加工过程中, 有些过程不可避免地存在着不稳定的因素, 如切削工具有较大的磨损而无补偿装置时, 过程就是不稳的。若尺寸的公差较宽, 则可允许过程有一定的波动, 但加工的点仍需在控制线以内。

利用 $\bar{X}-R$ 的质量控制图,可以判别工序中误差的性质以及变化的情况。在生产实际中,尤其是大批量生产,可以通过取样,制订出 \bar{X}, R 的各控制线,然后继续取样,观察质量变化情况,判断加工过程进行是否正常,以便对加工进行控制。

四、相关分析

在分析加工精度时,往往需要分析某些因素之间的关系,如误差的复映等,因此,可用点图作相关分析。

相关分析法是研究随机变量间相互关系的方法。由于随机变量(随机误差)的分布具有一定的分散性,所以随机误差之间的相互关系不是函数关系而是相关关系。

概率相关性程度愈密切,则愈接近于函数关系,愈微弱则愈接近于相互独立,图 4-24 所示,(a)为相关性较强的情况,(b)为相关性稍弱,而(c)则表明两个随机变量互不相关(互相独立)。

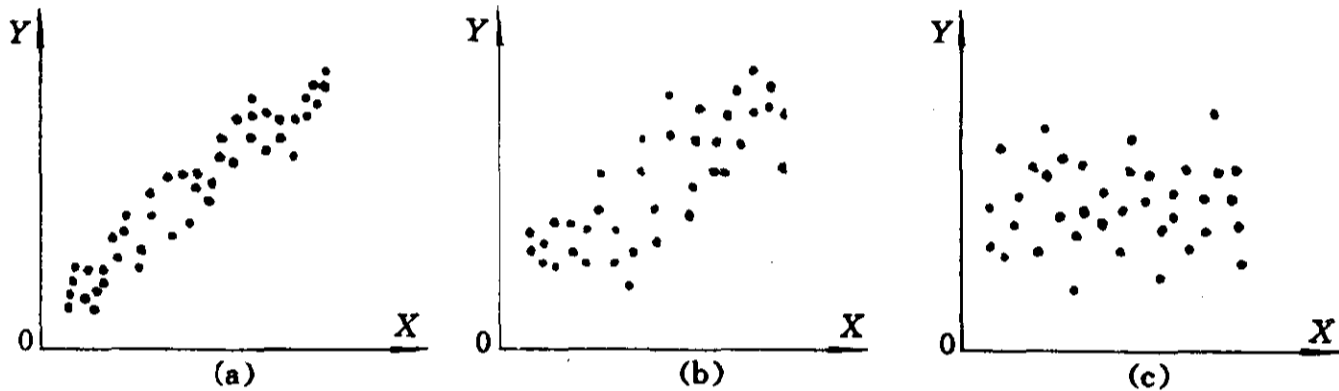


图 4-24 相关关系图

为作精确分析,可将 N 个观测量 (X_i, Y_i) , $(i=1, \dots, N)$, 用最小二乘法来求线性回归方程(图 4-25):

$$Y = aX + b$$

使 N 个观测值的误差平方和

$$Q = \sum_{i=1}^N (\Delta Y_i)^2$$

$$= \sum_{i=1}^N [Y_i - (aX_i + b)]^2$$

达到极小值。

由于 $Q(a, b)$ 是 a, b 的二次函数,而且是非负的,所以一定存在极小值。为求出 a 和 b 的数值,可对 Q 分别求出偏微商,并使之等于零,即

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^N (Y_i - aX_i - b)X_i = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^N (Y_i - aX_i - b) = 0$$

解上面两个方程得:

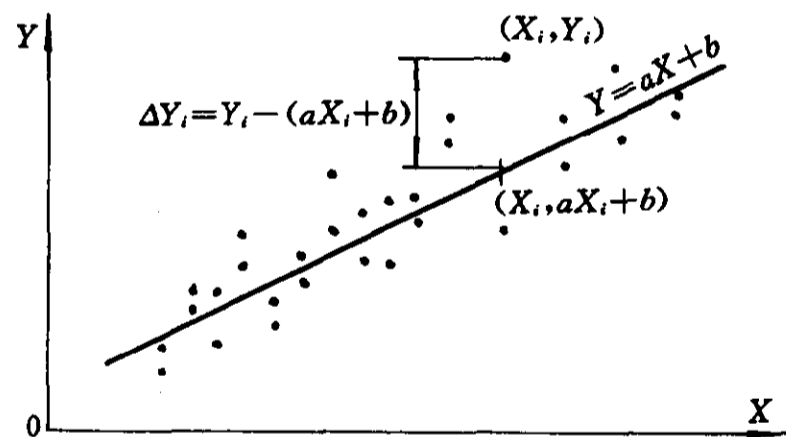


图 4-25 观测值与回归直线方程

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} - a \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \bar{Y} - a\bar{X}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} = \frac{L_{XY}}{L_{XX}}$$

式中 \bar{X} —— X 的平均值；

\bar{Y} —— Y 的平均值；

L_{XX} —— X 的偏差平方和；

L_{XY} —— Y 的偏差和 X 的偏差积之和。

由于任意 N 个观测值数据总可以作出一条回归直线来，因此，就需要用一个数量性的指标来描述 X, Y 两个随机变量间线性相关的程度。一般常用相关系数 r 来描述，即

$$r = \frac{L_{XY}}{\sqrt{L_{XX} \cdot L_{YY}}}$$

式中：

$$L_{YY} = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$$

是 Y 的偏差平方和。

由于 L_{XX}, L_{YY} 必然是正值， r 的符号取决于 L_{XY} 的符号。

$|r|$ 值愈大，表示 X, Y 的线性相关愈密切， $|r|=1$ 时是函数关系，而 r 值为零时，表示 X, Y 两个随机变量间互不相关。

在计算出 r 值后，即可根据危险率 α (为 5% 或 1%) 和自由度 ν (为 $N-2$)，可在表 4-7 中查出 r_α 值，当

$|r| \geq r_\alpha$ 时，则有 $1-\alpha$ 的可靠性判断 X 与 Y 线性相关；

$|r| < r_\alpha$ 时，则认为 $r=0$ ，即变量 X 与 Y 无关。

表 4-7 相关系数 r_α

ν \ α	α		ν \ α	α	
	0.05	0.01		0.05	0.01
1	0.997	0.999	10	0.576	0.708
2	0.950	0.990	11	0.553	0.684
3	0.878	0.959	12	0.532	0.661
4	0.811	0.917	13	0.514	0.641
5	0.754	0.874	14	0.497	0.623
6	0.707	0.834	15	0.482	0.606
7	0.666	0.798	16	0.468	0.590
8	0.632	0.765	18	0.444	0.561
9	0.602	0.735	20	0.423	0.537

$\alpha \backslash \nu$	α		$\alpha \backslash \nu$	α	
	0.05	0.01		0.05	0.01
22	0.404	0.515	60	0.250	0.325
24	0.388	0.496	70	0.232	0.302
26	0.374	0.478	80	0.217	0.283
28	0.361	0.463	90	0.205	0.267
30	0.349	0.449	100	0.195	0.254
35	0.325	0.418	200	0.138	0.181
40	0.304	0.393	300	0.113	0.148
45	0.288	0.372	400	0.098	0.128
50	0.273	0.354	1000	0.062	0.081

在生产实际中,当试验的数据量较大时,用上述计算方法求定回归方程,则计算劳动量就比较大,一般可用简易方法求出。其具体作法是:

(1) 在点图上画中值线 X_c ,将数据点平分在左右两边(如图 4-26 所示);

(2) 再在每边的数据点中,画出中值线 $X_{c1}, Y_{c1}, X_{c2}, Y_{c2}$,并求出各自的交点 C_1, C_2 ;

(3) 过 C_1 和 C_2 连一直线,此直线即为近似的回归直线。

用简易方法求出的回归方程,比用计算法求得的直线虽然在精度上要差些,但也能满足一般生产上的要求。由于简易法比较快捷与简便,所以应用也较多。

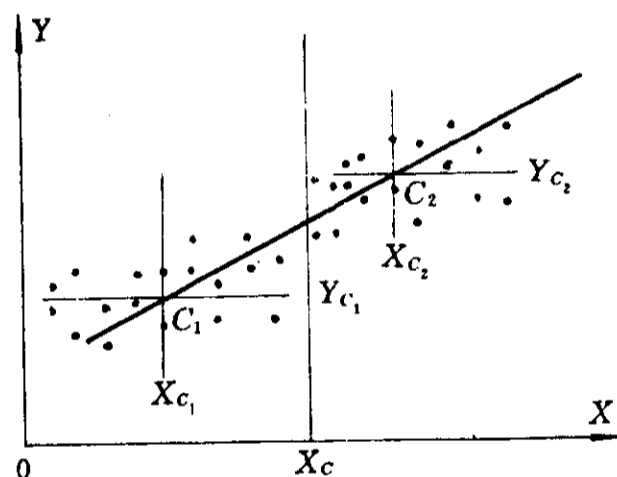


图 4-26 回归直线的简易求法

§ 4-4 工艺试验的正交设计

在工艺设计和制造过程中,有时为了分析研究加工精度或改进某种工艺方法等,常需要进行工艺试验以确定各种工艺因素的影响。在试验时为安排各工艺因素,使试验次数最少而又能获得正确的结果,可采用正交设计法。

一、基本概念

1. 指标、因子及水平

指标: 用以衡量试验结果的一个特征量。如变形量、时间及产量等。

因子: 影响试验指标的因素。如加工用量、压力、温度、加工方法及工艺方案等。

水平: 因子在试验中所处的状态。如磨削时用 25m/s 和 35m/s 进行磨削试验,则称切削速度是二水平因子。某些不能用数量表示的定性因素,如两种不同的刀具材料等,只要规定每

个水平的具体内容,就可以和定量因素一样处理。

当试验 8 个因子,每个因子有三个水平,则称三水平八因子试验,记为 3^8 型试验。

8 个因子,三个水平的不同搭配方式共计有:

$$3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 3^8 = 6561 \text{ (种)}$$

进行这样大量的试验是不经济的,也是不合理的,有时是不可能的。为了减少试验次数而又能全面反映情况,可用正交表来安排试验。

2. 正交表

正交表是一种规格化的表格,如表 4-8 是一张正交表,记作 $L_8(2^7)$ 。L 表示是一张正交表,8 表示有 8 个横行,也就是要做 8 次试验,括号内的数字 2 则表示两个水平,指数 7 表示有 7 个纵列,也就是最多安排 7 个因子。

表 4-8 正交表 $L_8(2^7)$

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

正交表有两个特点:

(1) 每一纵列各个数码(水平)的重复次数相等。在表 4-8 中,各有四个“1”水平和四个“2”水平;

(2) 任意两纵列,在同一横行上的搭配出现次数都相同。在表 4-8 中(1,1)、(1,2)、(2,1)和(2,2)都出现两次。

以上两条性质称为正交表的“正交性”,是正交表的共有性质。

二、试验设计与分析

在设计试验时,首先要确定指标,然后分析影响指标的各因素,选定试验因素,并根据情况确定每个因子的水平。

在确定了因素和水平后,据此选择正交表。如试验为 2^5 型,则应选择 $L_8(2^7)$ 正交表,该表纵向有 7 列,现在只有 5 个因子,设计时可空两列,将 5 个因子填在列号上,如表 4-9 所列。

从这张试验表上可以看出各次试验的条件,表中每一横行代表一种试验条件。如:

第一次试验: $A_1 B_1 C_1 D_1 E_1$

即因子 A, B, C, D 和 E 均取第一水平为试验条件进行试验。又如:

第八次试验: $A_2 B_2 C_2 D_1 E_1$

即因子 A, B 和 C 取第二水平、因子 D, E 取第一水平进行试验。

表 4-9 正交试验分析表

列号 试验号	A	B		C	D	E		指标数据
	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	Y_1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y_2
3	1	2	2	1	1	2	2	Y_3
4	1	2	2	2	2	1	1	Y_4
5	2	1	2	1	2	1	2	Y_5
6	2	1	2	2	1	2	1	Y_6
7	2	2	1	1	2	2	1	Y_7
8	2	2	1	2	1	1	2	Y_8
K_1								$T = \sum_{i=1}^8 Y_i$
K_2								$\mu = \frac{T}{8}$
R								$= \frac{K_1 + K_2}{2}$

试验后,将测量得到的试验指标数据 Y_1, Y_2, \dots, Y_8 填入表内。

根据这些数据,即可分析各因子的水平改变对指标的影响。

如因素 A,水平 A_1 和 A_2 各出现在四次试验中,第 1,2,3,4 号试验,因子 A 用的是第一水平,第 5,6,7,8 号试验,因子 A 用的是第二水平。在按因子 A 水平的不同而分成的两组试验中,其他各因子的水平虽然各不相同,但由于有均衡搭配的性质,其关系如表 4-10 所列。

表 4-10 因子水平与试验号关系

因子 试验号	A	B	C	D	E
1,2,3,4	$A_1: 4$ 次	$B_1: 2$ 次 $B_2: 2$ 次	$C_1: 2$ 次 $C_2: 2$ 次	$D_1: 2$ 次 $D_2: 2$ 次	$E_1: 2$ 次 $E_2: 2$ 次
5,6,7,8	$A_2: 4$ 次	$B_1: 2$ 次 $B_2: 2$ 次	$C_1: 2$ 次 $C_2: 2$ 次	$D_1: 2$ 次 $D_2: 2$ 次	$E_1: 2$ 次 $E_2: 2$ 次

由此可以看出,在 1~4 号试验和 5~8 号试验中,因子 B,C,D,E 各水平出现的情况是一样的。所以 $(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)$ 和 $(Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8)$ 之间的差别仅仅是由于 A 因子所用的水平不同而引起的。同理, $(Y_1 + Y_2 + Y_5 + Y_6)$ 和 $(Y_3 + Y_4 + Y_7 + Y_8)$ 间之差别,也仅是因子 B 所处的水平不同而引起的,因此,根据这些差别就能了解该因子各个水平对指标的影响。

将各因子同水平的指标数据求和再除以该水平的试验次数的数值填入表中 K_1, K_2 处,并计算极差 R 。

如因子 A:

$$K_1 = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4)/4$$

$$K_2 = (Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8)/4$$

因子 A 的极差 R_A 为:

$$R_A = |K_1 - K_2|$$

极差的大小,是反映该因子对指标影响大小的。 R 大则是主要影响因素, R 小,则是次要因素。

对于主要因素,应根据 K_1, K_2 值来选择好的水平,对于影响小的次要因素,一般可根据经济与方便来选择。

用这种方法选择的最好条件,是各因子、各水平所有搭配 ($2^5=32$ 种) 中最优的,可能是 8 次试验中的一次,也可能是未作试验的另外 24 种搭配之一。

正交表中,第 3,7 两列是空列。若按 3(或 7)列的水平来求 K_1 和 K_2 值,即:

$$K_1 = (Y_1 + Y_2 + Y_7 + Y_8)/4$$

$$K_2 = (Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6)/4$$

则其极差 $R_3 = |K_1 - K_2|$ 只反映第 3 列的因子变化,而第 3 列又是空列,没有什么因子的水平影响问题。因此,该列的极差应该是零。由于一般试验均有误差,所以空列的极差不一定为零。所以经常计算空列的极差作为试验误差的检验手段。一般称空列为误差列。

图 4-27 所示为生产中某型压气机叶片叶型在喷丸强化加工的示意图。在生产中废品率极高,现要进行工艺试验以提高加工质量。试验项目之一是确定喷丸压力对叶型偏移变形的影响。

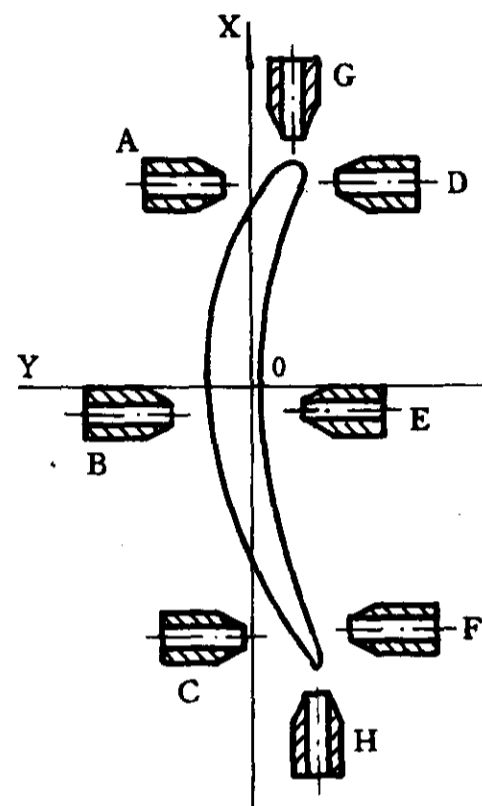


图 4-27 叶型喷丸加工示意图

每个喷咀的压力各取三个水平: 1.5×10^5 、 2.5×10^5 、 3.5×10^5 帕。所以该试验是 8 因子三水平试验,正交表选用 $L_{27}(3^{13})$ 。

叶型经过 27 次试验后,其结果如表 4-11 所列。

表 4-11 $L_{27}(3^{13})$ 叶型喷丸试验表

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	11	13	变形 (mm)
试验号	B	A	C	E	D	F	G	H			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0.02
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	-1.22
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	-1.78
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	3	-0.66
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	1	-0.94
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	2	-0.91
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	2	+0.08
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	3	-0.17
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	1	-0.81
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	3	+0.16

续表 4-11

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	11	13	变形 (mm)
	B	A	C	E	D	F	G	H			
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	1	-0.11
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	2	-0.52
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	2	+0.26
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	3	+0.02
15	2	2 ^a	3	1	3	1	2	1	2	1	-0.62
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	1	+0.20
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	2	-0.52
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	3	-0.16
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	2	+0.31
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	3	+0.13
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	1	-0.67
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	1	-0.25
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	2	-0.01
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	3	-0.12
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	3	+0.39
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	1	+0.42
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	2	+0.20
K_1	-0.71	-0.41	-0.43	-0.26	+0.05	-0.15	-0.20	-0.16	-0.16	-0.16	$T = \sum_{i=1}^{27} Y_i$ $= -7.32$ $\mu = \frac{T}{27}$ $= -0.27$
K_2	-0.14	-0.36	-0.22	-0.36	-0.27	-0.26	-0.35	-0.29	-0.24	-0.26	
K_3	+0.04	-0.04	-0.16	-0.19	-0.60	-0.41	-0.26	-0.36	-0.42	-0.39	
R_K	0.31	0.08	0.04	0.02	0.21	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	

在三水平时,一般反映因子的主次的顺序,常用离差来表示。一组数与平均值的差的平方和,称作是这组数的离差,即

$$R_K = (K_1 - \mu)^2 + (K_2 - \mu)^2 + (K_3 - \mu)^2$$

从表 4-11 计算中可以看出,第 11,13 两列是空列,其离差是 0.04 和 0.03,误差列的数值不大,说明试验有一定的精度。

由表中的计算值,各因素的水平可选择为: $A_3B_3C_3D_1E_3F_1G_1H_1$ 。

三、交互作用

在多因素的对比试验中,某些因子对指标的影响,有时不仅是各个因子单独地对指标起作用,而且是因子之间联合起来影响某一指标,这种作用称为交互作用。

如在进行某磨削工艺试验时,试验的因子、水平和指标如下。

因子:磨削工具材料、磨削速度、磨削深度。

水平:二水平。磨削工具材料:一水平——金刚石;二水平——立方氮化硼。磨削速度:一

水平——30m/s；二水平——60m/s。磨削深度：一水平——0.01mm；二水平——0.02mm。
 指标：生产率。

试验后，各因子间的关系如图 4-28 所示。

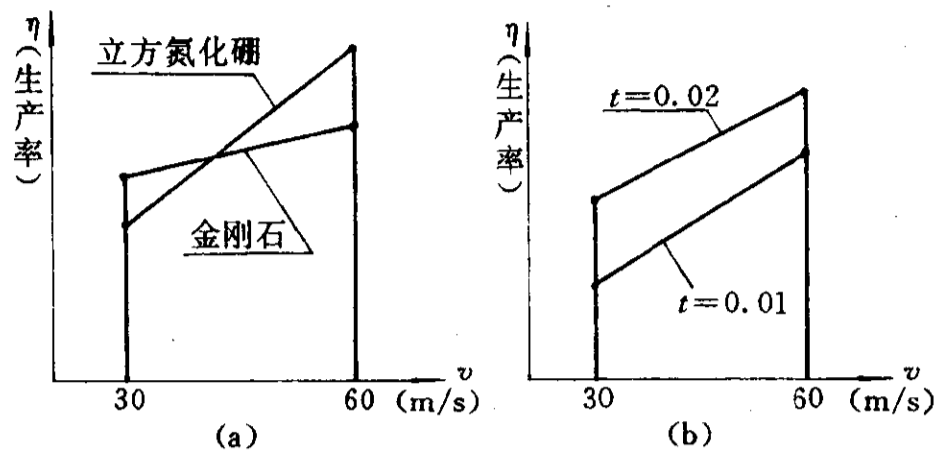


图 4-28 磨削试验的二元图

二元图是指两个因素水平变化时对指标的影响图。

由图 4-28(a)可以看出：采用 $v=30\text{m/s}$ 时，由于金刚石在硬度和强度上优于立方氮化硼，生产率较高，当磨削速度 $v=60\text{m/s}$ 时，磨削温度升高，立方氮化硼比金刚石能耐更高的磨削温度，所以生产率较高。这种一个因素水平的好坏与另一个因素水平的选取有紧密的依赖关系，称为有交互作用。

由图 4-28(b)看出：切削深度 $t=0.02$ 时，不管磨削速度是一水平(30m/s)或二水平(60 m/s)，其生产率均高于 $t=0.01$ 时的生产率，即切削深度水平的选取不受切削速度所处水平的影响，则称无交互作用的关系。

因子之间的交互作用，从正交表上也可以直接反映出来。

因为正交表中，任意两列的交互作用列是一定的，可由交互作用表(大多数正交表都有这种交互表)查找。如 $L_8(2^7)$ 的交互表如表 4-12 所列。

表 4-12 $L_8(2^7)$ 二列间交互作用列

列号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7
1		3	2	5	4	7	6
2	3		1	6	7	4	5
3	2	1		7	6	5	4
4	5	6	7		1	2	3
5	4	7	6	1		3	2
6	7	4	5	2	3		1
7	6	5	4	3	2	1	

由交互表知，1,2 列的交互作用列是 3 列，1,4 列的交互作用列是 5 列，等等。

如有三个因子，用 $L_8(2^7)$ 正交表进行试验，若因子 A, B, C 安排在 1, 2, 4 列，则 A, B 的交互作用(记为 $A \times B$)列是 3 列， $A \times C$ 则是 5 列， $B \times C$ 的交互列是 6 列。这样交互列和因子列没有重叠现象。

在计算时,交互列的极差(三水平及以上用离差)就代表交互作用的大小。可以把交互作用作为一个因子来对待。

若在安排因子时,A,B,C 安排在 1,2,3 列,则情况如表 4-13 所示。

表 4-13 因子与交互列的安排

列 号	1	2	3	4	5	6	7
因 子	A	B	C				
	B×C	A×C	A×B				

这种因子安排就难于分清第 1 列的极差究竟是反映 A 因子水平变化对指标的影响,还是 B,C 的交互作用的影响。所以,在试验前考虑到有可能会有交互作用时,要注意避免混杂现象。

四、多指标试验

上述正交试验的指标只有一个,称为单指标试验。在实际生产中,往往衡量试验效果的指标不止一个,而是很多个,这类试验则称为多指标试验。

如上述压气机叶片叶型的喷丸试验,其指标是:偏移变形、扭转变形、弯曲变形以及覆盖率(叶型表面加工到的百分率)等。该试验就是个多指标试验。

多指标试验时,因子水平常采用综合平衡法来确定。

综合平衡法是首先把各指标分别按单指标进行计算分析,初步选定好的水平,然后再对各个指标的计算分析结果进行平衡,得出多指标的最优方案。

具体步骤如下:

设试验有四个因子、二水平,考察两个指标。

(1) 根据试验数据,分别计算各个指标的 K_1, K_2 的数值,并按照 K_1, K_2 的数值计算极差 R 的数值;

(2) 根据极差 R ,确定各指标的主、次因子。设:

指标 I: 最主要的因子是 A,较主要的因子是 C,最次要的因子是 D,各因子的主次顺序为:A—C—B—D;

指标 II: 最主要的因子是 B,较主要的因子是 D,最次要的因子是 A,各因子的主次顺序为:B—D—C—A。

(3) 根据 K_1, K_2 的值,选择各因子的水平。设:

指标 I 为: $A_2 C_2 B_1 D_1$;

指标 II 为: $B_2 D_2 C_2 A_1$ 。

(4) 综合平衡:

因子 A 是指标 I 的最主要因子,对指标 II 来说,则是最次要因子,所以取 A_2 。

因子 B 则是指标 II 的最主要因子,故应按指标 II 的要求来选取,取 B_2 。

因子 C,因两个指标均要求是 C_2 ,所以取 C_2 。

因子 D,对于指标 II 来说较为主要,对于指标 I,则是最次要因子,所以应取 D_2 。

最后得到多指标的最优方案为: $A_2 B_2 C_2 D_2$ 。

综合平衡可采用表 4-14 来表示。

表 4-14 多因素综合平衡表

指 标	因子主次顺序 主→次	单指标好水平组合	多指标最优方案
I	A B C D	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	A ₂ B ₂ C ₂ D ₂
Ⅱ	B D C A	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	

叶型喷丸强化的试验也是多指标试验,按照这样一个单指标好水平的组合是:

A₃ B₃ C₃ D₁ E₃ F₁ G₁ H₁。

按多指标平衡后,实际用于生产的最优方案为:

A₂ B₃ C₁ D₂ E₂ F₁ G₂ H₂。

第五章 机械加工表面质量

§ 5-1 表面质量概述

一、表面质量的概念

机械产品的加工质量,除加工精度外,表面质量是另一个重要指标。由于科学技术的发展,要求零件能在高速、高温及大负载的困难条件下工作,产品的性能,尤其是它的可靠性和寿命,在很大程度上取决于加工后的表面质量。

近年来,在某些机械工业部门,特别是航空和航天工业部门,广泛采用高强度钢、耐热钢、高温合金和钛合金等新材料,这些材料的加工性差,难于加工。因此,除了研究这些难加工材料的加工方法外,还必须重视表面质量的研究。

零件的表面质量对产品的工作性能有很大的影响,其主要原因是:

(1) 表面上有很多缺陷能引起应力集中,如裂纹和加工痕迹等,在交变应力的作用下可引起应力集中而导致破坏;

(2) 表面层是金属的边界,由于晶粒完整性受到破坏,降低了表面层的机械性能,而表面层是受应力最大的地方;

(3) 表面经过机械加工后,其表面层的物理、机械和化学性能都和基体金属不同,这些变化对于可靠性和寿命有重大影响;

(4) 零件的结合,是以表面接触的,表面层的特性对接触刚度和磨损,都有决定性的影响。

经过机械加工后,工件表面上形成的结构和影响所及的并与基体金属性能有所变异的表面层状态,称之为加工表面质量。

表面质量研究的内容有:

1. 表面的几何形状特征,即表面纹理

(1) 表面粗糙度,即表面微观的几何形状误差;

(2) 表面波度,介于宏观形状误差和粗糙之间的几何误差,一般是由工艺系统的振动所引起的;

(3) 加工纹理,刀痕的类型和方向。

2. 表面层的物理性能和机械性能的变化

(1) 表面层因塑性变形而引起的冷作硬化;

(2) 表面层因切削热而引起的金相组织的变化;

(3) 表面层内由于切削而产生的残余内应力。

二、表面质量的评定

表面质量应从几何形状和物理、机械性能两方面进行评定。

1. 表面微观几何形状

根据表面几何形状特征,可将其分为下述三种类型。

粗糙度:波距小于 1mm;

波度:波距在 1~20mm 之间;

宏观几何形状:波距大于 10mm。

(1) 表面粗糙度

表面粗糙度主要是由切削工具的形状和在切削过程中产生的塑性变形等因素引起的。用微观不平度的算术平均偏差 R_a ,或微观不平度的平均高 R_z 来确定粗糙度的数值,其数值等级由 GB1031-83 规定(见附录三)。

(2) 表面波度

机械加工的波度主要是由切削过程中的振动所引起的。波度尚无评定标准。一般常以波高为波度的表征参数,用测量长度上五个最大的波幅的算术平均值 W 来表示:

$$W = \frac{1}{5}(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$$

2. 表面层的物理、机械性能

表面层的物理、机械性能包括下列三方面的内容。

(1) 表面层的冷作硬化

表面层冷作硬化一般用冷硬层深度及冷硬程度 N 来评定。

$$N = [(H - H_0)/H_0] \times 100\%$$

式中 H ——加工后表面层的显微硬度;

H_0 ——原材料的显微硬度。

(2) 表面层的金相组织变化

加工过程中,表面层出现温度升高,当温升超过相变临界点,就会产生组织变化。评定办法是采用金相组织的显微观测。

(3) 表面层的残余应力

在切削过程中,由于塑性变形和相变,在表面处产生内应力,可能是压缩应力,也可能是拉伸应力。目前,对残余应力只能判定其性质(是拉或压应力),其数值大小尚无法评定。

§ 5-2 表面质量对使用性能的影响

表面质量对零件的使用性能,如对配合性质、耐磨性能、耐蚀性以及疲劳强度等,有很大的影响。

一、配合性质

对于互相配合的零件,无论是动配合、过渡配合还是静配合,如果表面加工比较粗糙, R_a 的数值必然会很大,从而影响到实际配合的性质。

对于动配合的零件,如果配合表面很粗糙,则机器在工作时会迅速磨损,使其间隙加大,从而影响配合精度,改变了应有的配合性质,很快降低使用质量。

对过盈配合来说,表面粗糙度 R_a 的值过大,会影响连接强度。由于表面不平,实际过盈量

并不等于轴和孔的直径之差。

一般实际过盈当量 e 约等于：

$$e \doteq (D_1 - D_2) - 1.2(R_{Y1} + R_{Y2})$$

式中 e ——过盈当量；

D_1 ——轴的直径；

D_2 ——孔的直径；

R_{Y1} ——轴的轮廓最大高度；

R_{Y2} ——孔的轮廓最大高度。

因此，粗糙度会降低过盈配合的连接强度。

对于过渡配合，则兼有上述两种配合的问题。

二、耐磨性能

表面的粗糙度和表面硬化，都对零件表面的耐磨性有很大的影响。

在干摩擦时，两个互相摩擦的表面，最初只是在粗糙度的峰部接触。如一般车、镗、铣的表面，摩擦时实际上只有计算面积的 15%~25% 在接触，细磨后有 30%~50%。因此，粗糙的顶峰有很大的挤压力，使粗糙表面产生弹性变形和塑性变形。在表面相互移动时，将有一部分凸峰被剪切掉。

湿摩擦情况要复杂些，但在最初阶段，由于粗糙度过大造成接触点处单位面积压力过大，超过了润滑油膜存在的临界值，也产生与干摩擦类似的现象。

表面的磨损过程，一般分为三个阶段。

(1) 初磨损阶段

在初磨损阶段，零件表面有较多的凸峰，实际接触面积很小，磨损较快。这个阶段的时间较短，约有 50%~75% 的波峰高度被磨掉，表面上的粗糙度有所改善。如图 5-1 中的 I 区所示。

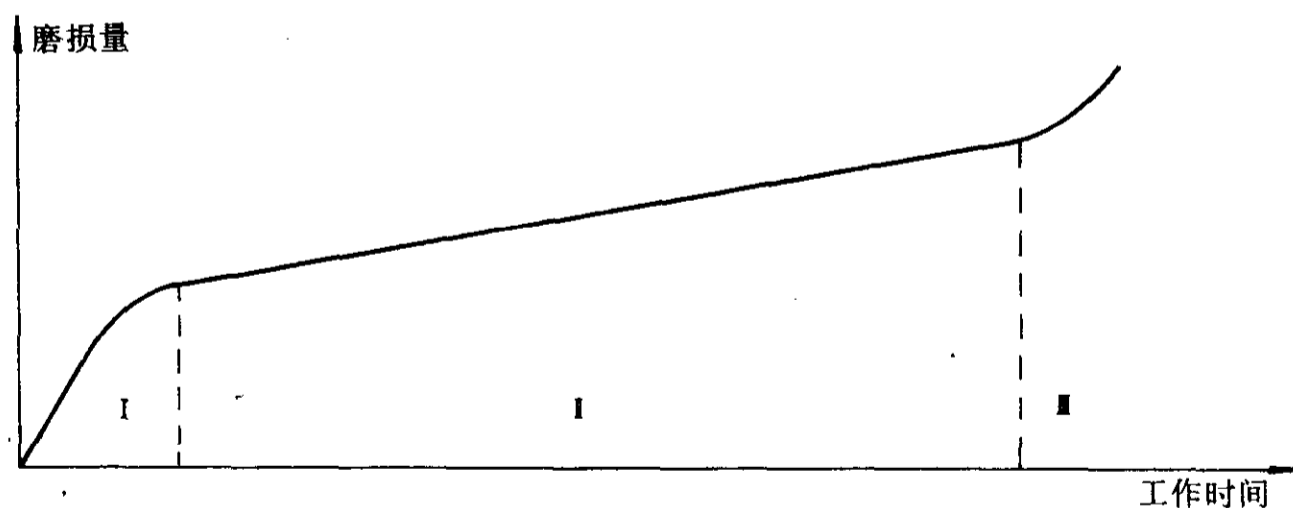


图 5-1 磨损过程

(2) 正常磨损阶段

经过初磨损阶段后，很快使接触面积增加至 65%~75%，单位面积的压力大大减小，磨损进入正常阶段，如 5-1 图中 II 区所示。这一阶段的时间较长，在有润滑的条件下，油膜就能很好起作用，使磨损慢而稳定。

(3) 急剧磨损阶段

这阶段的磨损因接触面过于光滑而紧密贴合，润滑油被挤出而造成干摩擦，因表面间分子

的亲合力,导致磨损急剧增加(图 5-1, ■ 区)。

表面硬化能提高耐磨性,但过度的硬化,使金属组织变形过度,磨损反会加剧,甚至产生剥落。

另外,如果表面层产生金相组织的变化,会改变硬度,从而影响耐磨性。

三、耐蚀性能

表面质量对零件的耐蚀性能有很大的影响。

一般说,表面粗糙度的 R_a 值愈小,耐蚀性就愈强。因为表面愈粗糙,大气中的气体、水汽及杂质等愈易于在凹谷聚集,从而产生电化学反应,形成电化学腐蚀,逐步在谷底形成裂纹,且在拉应力作用下逐步扩展。

当两种不同金属材料的零件接触时,在水分存在的条件下,在表面粗糙度的顶峰间产生电化作用,从而形成电化学腐蚀。

有残余拉应力和冷作硬化的零件表面,都会使零件的抗蚀性下降。应力腐蚀是航空、航天器零件常见的一种破坏形式。特别是在受燃气侵蚀的条件下工作的零件。

金相组织的改变,特别是高强度钢的表面层,如 40CrNiMoA 的表面层,若产生有如过回火马氏体等组织时,则就要降低耐蚀性。所以,在加工时,一般均采用锐利的刀具进行切削,以避免产生相变。

另外,由于钛合金、高温合金在进行电化加工时,往往要产生晶界腐蚀的现象,所以在这些工序后应再进行其他的强化工序。

四、疲劳强度

金属受交变载荷作用后的疲劳破坏,往往发生在金属表面上(或硬化表面层下),因此工件的表面质量对疲劳强度有很大影响。

1. 粗糙度的影响

在周期性的交变载荷下,加工痕迹的谷底的应力,一般要比作用于表面层的平均应力大 50%~150%,它是应力集中的发源地,也给产生裂纹创造了条件。减小表面粗糙度 R_a 的数值,将能提高疲劳强度。

实验证明,耐热钢 4Cr14Ni14W2Mo 的试件,其 R_a 值由 $0.2\mu\text{m}$,减小到 $0.025\mu\text{m}$ 时,疲劳强度提高了 25%。粗糙度的加工纹理方向,对疲劳强度也有影响。加工纹理垂直于受力方向时的疲劳强度,比平行于受力方向的要低 1.5 倍左右。

2. 冷作硬化的影响

表面层冷作硬化对疲劳强度的影响,一般地说在低温工作时起提高的作用。因为强化过的表面层会阻止已有的裂纹扩大和新裂纹的产生。同时,硬化会减小外部缺陷和粗糙度的有害影响。对残余拉伸应力的有害影响也会有所减弱。

对于铝镁合金和其它低强度的金属而言,硬化对提高疲劳强度起主要作用。

对于某些材料(如钛合金 TC9),表面硬化只是在一定的硬化程度和深度的情况下,才对提高疲劳强度有利。当 TC9 合金的试件,造成 19%~24%硬化程度和 $50\sim 180\mu\text{m}$ 的硬化深度,在 450°C 时,疲劳强度将会降低。这是因为在循环加载和高温作用下,表面塑性变形层会加速扩散过程,进而使金属表面层软化并丧失承载能力。

3. 残余应力的影响

金属的疲劳破坏,都是在承受交变载荷的过程中,由于疲劳微细裂纹的形成和扩展而造成的。当表面层具有残余压缩应力时,将阻止裂纹的扩展,从而使零件的疲劳强度显著提高。表面层中的拉伸应力,将使疲劳强度下降。

在高温条件下工作的零件,残余应力对疲劳强度的影响较小。

由于零件表面的冷作硬化和残余压缩应力,在一般情况下对疲劳强度起有利的影响,可延长使用寿命,所以,喷丸、滚压和挤压等强化工艺,经常用来提高零件的疲劳强度。

§ 5-3 表面粗糙度及影响因素

影响加工表面粗糙度的因素,主要有几何因素和物理因素两个方面。当工艺系统产生振动时,将对粗糙度有极大的影响。

一、切削加工后的表面粗糙度

1. 几何因素

影响表面粗糙度的几何因素是刀具相对工件作进给运动时,在工件表面上遗留下来的切削层残留面积。如图 5-2 所示。

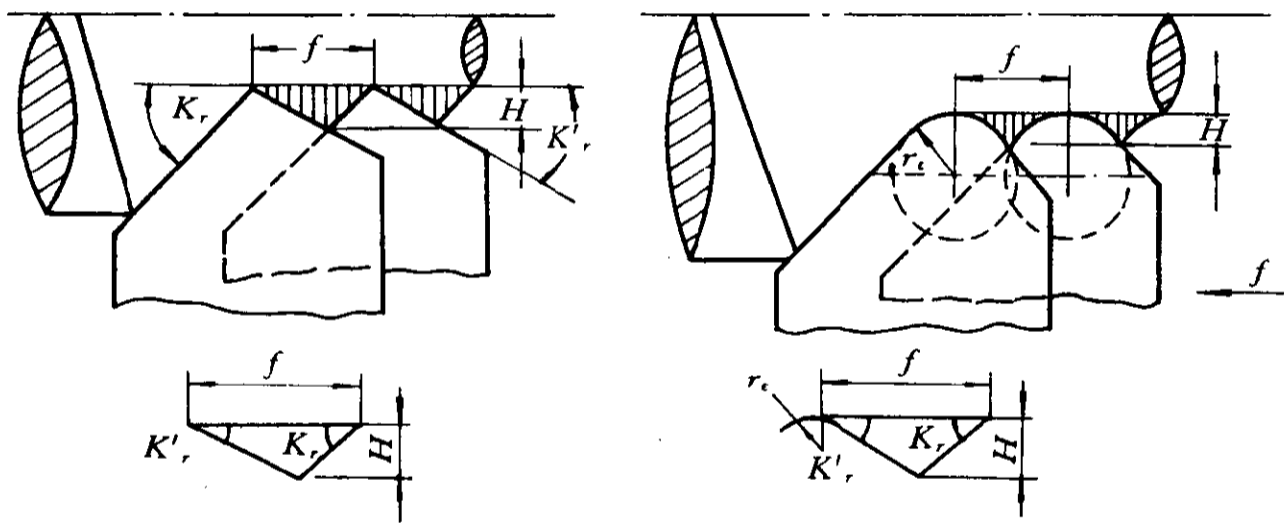


图 5-2 切削层残留面积

切削层残留面积愈大,粗糙度就愈差。

为减小残留面积,可通过改变进给量及切削刀具的有关结构参数来实现。工件上的残留高度可按下式计算:

$$H = \frac{f}{\operatorname{ctg}K_r + \operatorname{ctg}K'_r}$$

当刀具有刀尖圆弧半径 r_n 时,则:

$$H = \frac{f - r_n \left(\operatorname{tg} \frac{K_r}{2} + \operatorname{tg} \frac{K'_r}{2} \right)}{\operatorname{ctg}K_r + \operatorname{ctg}K'_r}$$

式中 H ——残留面积高度;

f ——进给量;

K_r ——主偏角($K_r \neq 90^\circ$);

K'_r ——副偏角；

r_e ——刀具的刀尖圆弧半径。

从上述公式可知，减小 f, K_r, K'_r 以及加大 r_e ，均可减小残留面积的高度。

此外，提高刀具的刃磨质量，避免刃口的粗糙度在工件表面上的复映，也是减小残留高度的有效措施。

2. 物理因素

切削加工后表面粗糙度的实际轮廓，一般都与纯几何因素形成的理论轮廓有较大的差别。这是因为存在着与被加工材料和切削加工有关的物理因素的缘故。在切削过程中，刀具的刃口圆角以及后面的挤压与摩擦，使金属材料产生塑性变形而使残留部分的理论轮廓受到影响，因而增加了表面粗糙度 R_a 的数值。

在图 5-3 中，横向轮廓表示垂直于切削速度方向的粗糙度，它受几何因素和物理因素的综合影响，在切削速度方向的粗糙度，称为纵向粗糙度，它主要是受物理因素影响而形成的。

在低切削速度下加工塑性材料，如低碳钢、耐热钢、高温合金、铝合金和钛合金等，常产生刀瘤和鳞刺，使加工表面的粗糙度严重恶化。

从物理因素来分析，要减小粗糙度 R_a 的数值，应减少加工过程中的塑性变形，并要避免产生刀瘤和鳞刺。其主要的影响因素，有下列几方面：

(1) 切削速度

由实验得知，切削速度 v 愈高，则切削过程中被加工表面的塑性变形程度就愈小，因而有较好的表面粗糙度。刀瘤和鳞刺一般都在较低的切削速度时产生。产生刀瘤和鳞刺的切削速度范围，是随不同的工件材料、刀具材料、刀具前角等因素而变化的。图 5-4 所示为切削速度对表面粗糙度的影响。

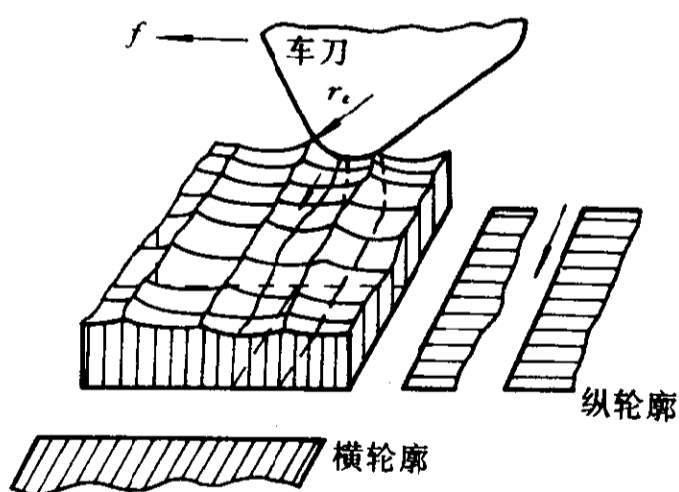


图 5-3 纵向和横向粗糙度

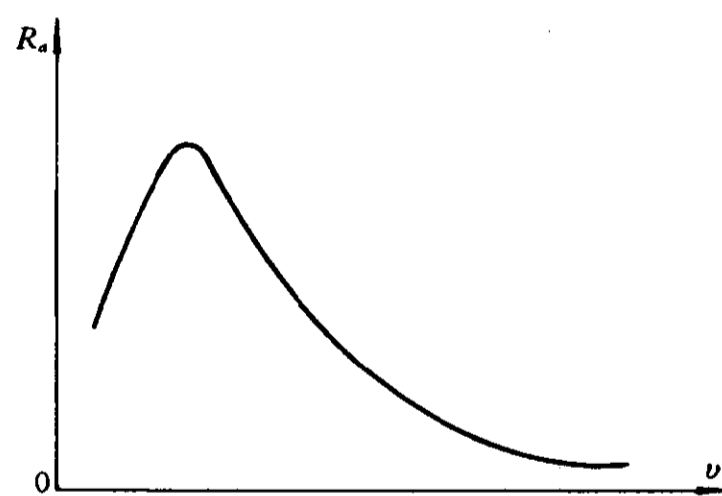


图 5-4 切削速度与粗糙度的关系

(2) 被加工材料的影响

加工韧性较大的塑性材料，在加工后其表面粗糙度较差。而脆性材料在加工后，其表面的轮廓比较接近于纯几何因素所形成的表面粗糙度。对于同样的材料，金相组织的晶粒愈粗大，则加工后的表面粗糙度就愈差。因此，有时为了获得较好的表面粗糙度，在加工前常进行调质或正常化处理，以获得较均匀细密的晶粒组织和较高的硬度。

(3) 刀具的切削角度

刀具的前角对切削过程的塑性变形有很大的影响，刀具的前角大，刀具就锋利，切削过程

中的塑性变形程度就相应减小,从而可获得较好的粗糙度。刀具的后角大,可使刀具的后面和已加工表面的摩擦减小,有利于改善表面粗糙度。刃倾角 λ 的大小,要影响刀具的实际前角,因此对表面的粗糙度也有影响。

(4) 刀具材料与刃磨质量

采用强度好、特别是热硬性高的刀具材料,因为刀具易于保持刃口锋利,耐磨性好,故能获得较好的表面粗糙度。

刀具的材料与刃磨对产生刀瘤和鳞刺等均有很大的影响。如用金刚石车刀精车铝合金时,由于摩擦系数小,刀面上不易产生粘附现象,因此能获得较好的粗糙度。提高刀具前、后面的刃磨质量,也能获得良好的效果。

此外,合理地选择冷却润滑液,提高冷却润滑效果,常能抑制刀瘤、鳞刺的产生,减少切削时的塑性变形,有利于改善表面的粗糙度。

在实际生产中,这些因素是同时作用而且也互有影响的,应按具体条件进行分析。如用锋利的尖刀进行精车、精镗时,如果加工后横向粗糙度的轮廓曲线很有规律,如图 5-5 所示,则说明粗糙度主要由刀具相对于工件运动的几何轨迹所形成的,几何因素是主要的,塑性变形的影响则很小。



图 5-5 精镗后表面的横向轮廓

二、磨削加工后的表面粗糙度

磨削加工与切削加工不同。从几何因素看,由于砂轮上的磨削刃形状很不规则,分布又不均匀,而且随着砂轮的修正及砂粒的不断磨耗而改变。所以想计算其残留面积是困难的。

磨削时的加工表面,是由砂轮上大量的磨粒刻划出无数极细的沟槽(刻痕)形成的。单位面积上的刻痕愈多,即通过单位面积的砂粒数愈多,并且刻痕的等高性愈好,则加工后的表面粗糙度也愈好。

在磨削过程中,由于很多磨粒具有较大的负前角,所以其塑性变形要比切削加工时大得多。磨粒在磨削时,金属沿着磨粒的侧面流动,形成沟槽两旁的隆起。如图 5-6 所示,因而使表面粗糙度的 R_a 值增大。

磨削温度较高,使金属表面软化,使它容易塑性变形,也进一步增大了 R_a 的数值。

影响加工表面粗糙度的主要因素有:

(1) 砂轮

砂轮的粒度对加工表面的粗糙度有很大影响。砂轮的粒度愈细,则砂轮单位面积上的磨粒数愈多,因而在工件上的刻痕也密而细,所以能获得较好的粗糙度。

经过精细修正的粗粒度砂轮,在磨粒上可获得较多的微刃(如图 5-7 所示),并且具有较好的等高性,故能获得较好的粗糙度。

砂轮的硬度,即磨粒钝化后,在加工过程中从砂轮上脱落下来的能力,对稳定被加工表面的粗糙度也有影响。硬度过高,自锐能力差,砂粒与表面产生强烈摩擦,这不但要产生磨削烧伤,而且使粗糙度 R_a 值加大。但砂轮硬度过低,砂轮磨损过快,修整过的表面会很快破坏,使粗糙度变坏。

(2) 砂轮的修整

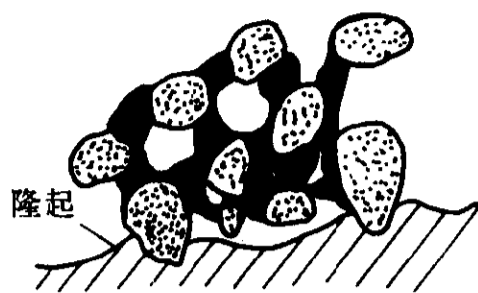


图 5-6 磨削时产生的隆起现象

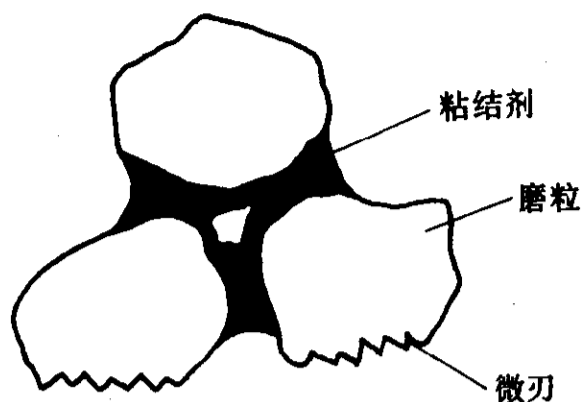


图 5-7 磨粒上的微刃

修整砂轮是改善表面粗糙度的另一重要因素。修整砂轮,是使砂轮具有一定的几何形状、使砂轮恢复磨削性能并获得切削刃的等高性。

用金刚石来修整砂轮,相当于在砂轮上车出一条螺纹,修整的导程和切深愈小,修出的砂轮就愈光滑,磨削刃的等高性也愈好。因而磨出的工件表面也愈平整,粗糙度较好。

修整砂轮时的小导程由机床的进给系统来实现。由于液压系统在低速下易产生爬行,因此,高精度磨床常采用静压导轨,以实现低进给修整。

(3) 磨削速度与工件圆周进给速度

磨削速度 v 和工件的圆周进给速度 v_w 的比值 v/v_w 愈大,则在单位面积上参加磨削的磨粒数就愈多。同时,塑性变形造成的隆起量也随着 v 的加大而下降,从而使加工粗糙度的 R_a 值减小。

在加工时,应避免砂轮和工件的转数成整数倍,这可使磨粒上的磨削刃不致重复地磨削工件上的同一地点,而使磨刃痕迹错开。

(4) 磨削切深和光磨次数

增加磨削深度,则磨削力和磨削温度增加,表面的塑性变形程度增加,从而影响表面粗糙度。

为获得较好的表面粗糙度,可采用较小的切深并在最后采用无进给的光磨,其效果比较显著。

此外,合理地选择冷却润滑液并及时过滤净化;控制轴向进给速度等,也都是很重要的。尤其是机床的精度和刚度等,有时是造成粗糙度差的主要原因。

§ 5-4 表面层的物理机械性能及影响因素

在切削加工过程中,工件受切削力和切削热的作用,其表面层的物理机械性能有较大的变化。

表面层和基体材料的主要不同是:

- (1) 表面层显微硬度的变化;
- (2) 材料金相组织的变化;
- (3) 表面层中残余应力的产生。

不同的工件材料,在不同的条件下进行加工,会产生各种不同的表面层特性。

已加工表面的显微硬度,是加工时塑性变形引起的冷作硬化和切削热产生的金相组织变

化所引起的硬度变化的综合结果。表面层的残余应力,也是由塑性变形所引起的残余应力和切削热产生的金相组织变化所引起的残余应力的综合。在磨削加工时,会产生更多的塑性变形和磨削热,而且大部分磨削热进入工件,所以磨削区的瞬时温度可达 $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。因此,磨削后表面的金相组织和显微硬度会有很大变化,产生的残余应力也较大。

一、加工表面层的冷作硬化

加工过程中工件表面层产生的塑性变形使晶体间产生剪切滑移和晶格严重扭曲,并产生晶粒拉长、破碎和纤维化,这时它的强度和硬度都有所增加,这就是冷作硬化现象。冷硬现象的评判标准是硬化程度和深度。

表面层的硬化程度取决于产生塑性变形的力、变形速度以及变形时的温度。力愈大,塑性变形也愈大,因而硬化程度也愈大。变形速度愈大,塑性变形愈不充分,硬化程度也就减小。变形的温度,不仅影响塑性变形程度,还会影响变形后的金相组织的恢复。当温度处在 $0.25\sim 0.3t_m$ (t_m 为金属的熔点)的范围内时,即会产生恢复现象,也就是部分地消除冷作硬化。航空、航天部门所用的耐热材料,由于熔点很高,在加工过程中产生的硬化不易恢复,所以冷作硬化较严重。

二、加工表面层的组织变化

在切削加工过程中,加工表面层出现温度升高。当温度升高超过金相组织变化的临界点时,就会产生金相组织变化。对一般的切削加工来说,温度升高不多,不一定能达到相变温度。但在磨削加工时,由于磨削力较大,磨削速度也特别高,所以磨削时的温度较高。再加上大部分磨削热(70%左右)将传给工件,所以磨削时容易发生表面金相组织的变化。

磨削实验证明,在轻磨削条件下磨出的表面层金相组织,没有什么变化。中等磨削条件下磨出的表面层金相组织,显然与基体组织不同,但变化层的深度只有几个微米,较容易在后续工序中去除。而在重磨削条件下,磨出的表面层金相组织变化层,其深度显著加大,如果后续工序的加工余量较小,将不能全部去除变化层,对使用性能就会有影响。

影响金相组织变化的因素有:工件材料、磨削温度和冷却速度。各种材料的金相组织和转变的特性是很不相同的。如淬火钢在磨削时,如果磨削区的温度超过马氏体的转变温度(中碳钢在 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$)但未超过相变临界温度(碳钢约为 720°C 左右)时,则工件表面层的马氏体组织产生回火现象,转变成硬度较低的回火组织(索氏体或屈氏体)。如果磨削区超过相变温度,又由于冷却液的急冷作用,表面层出现二次淬火马氏体组织,硬度较原来的回火马氏体高。

三、加工表面层的残余应力

在加工过程中,当表面层产生塑性变形或金相组织变化时,在表面层及其与基体之间就会产生互相平衡的应力,称为表面层的残余应力。

表面层产生残余应力的主要原因是:

(1) 冷态塑性变形

在切削力的作用下,已加工表面产生强烈的塑性变形。当表面层在切削时受刀具后面的挤压和摩擦的影响较大时,表面层产生伸长塑性变形,表面积趋于增大,此时里层金属受到影响,处于弹性变形状态。当外力消失后,里层金属趋向复原,但受到已产生塑性变形的表面层的限

制,回复不到原来的状态,因而在里层产生拉伸应力、外层产生残余压缩应力。同理,若表面层产生收缩性变形时,则由于基体金属的影响,表面层将产生残余拉伸应力,而里层则产生压缩残余应力。

另外,在冷态塑性变形时,同时使金属的晶格被扭曲,晶粒受到破坏,导致金属的密度下降,比容积增大。因此,在表面层要产生残余压缩应力。比容积增大和冷态塑料变形所产生的残余应力,若其压或拉的性质相反,则可互相抵消其部分影响。

(2) 热态塑性变形

在机械加工时,表面层受切削热的影响而产生热膨胀,由于基体的温度较低,因而表面层的热胀受到基体金属的限制,而在表面层产生压缩应力。若该应力没有超过材料的屈服极限时,不会产生塑性变形,当温度下降时,压缩应力逐渐消失,冷却到原有的室温时,恢复到加工前的状态。若表面层在加工时温度很高,产生的压缩应力超过材料的屈服极限时,就会产生热塑性变形。变形的应力如图 5-8 所示。

当切削区温度升高时,表面层受热膨胀而产生压缩应力,该应力随温度增加而线性地加大,当未达到 A 点时就开始冷却,因未产生热塑性变形而仍回至 0 点,表面层不产生残余应力。

当切削区温度升高到达 A 点时,热应力达到材料的屈服强度值,若在 A 点处温度再升高至 T_B ,表面层产生热塑性变形,热应力值将停留在材料在不同温度时的屈服强度值处(σ_B :材料在温度 T_B 时的屈服强度),当磨削完毕温度下降时,热应力按原斜率下降,(沿 BC 线),直到与基体温度一致时即到达 C 点。加工后表面层将有残余拉应力。

温度愈高,愈容易产生热塑性变形,产生的残余应力也愈大。残余应力的大小,除与温度有关外,也与材料的特性有关,即与屈服极限的曲线及温度升降的斜率有关。

(3) 金相组织的变化

切削加工时,尤其是磨削加工时的高温,会引起表面层金属组织的相变。由于不同的金相组织有不同的比重,因此,不同的组织的体积也不相同。若表面层的体积增加时,由于受基体的影响,表面产生压应力。反之,表面层体积缩小时,则产生拉应力。

各种组织中,马氏体比重最小,奥氏体比重最大。各种组织的比重值如下所列。

马氏体: $\gamma_M = 7.65$;

奥氏体: $\gamma_A = 7.96$;

屈氏体: $\gamma_T = 7.78$;

索氏体: $\gamma_S = 7.78$ 。

磨淬火钢时,若表面层产生回火现象,马氏体转化成屈氏体和索氏体,因体积缩小,表面层产生残余拉应力,里层产生残余压应力。若表面层产生二次淬火时,由于二次淬火马氏体的体积比里层回火组织的体积大,因而表面层产生压应力。

在实际生产中,机械加工后表面层残余应力是由上述三方面因素综合作用的结果。例如,在切削加工中如果切削热的影响不大,表面层中没有产生热塑性变形,而是以冷塑性变形为

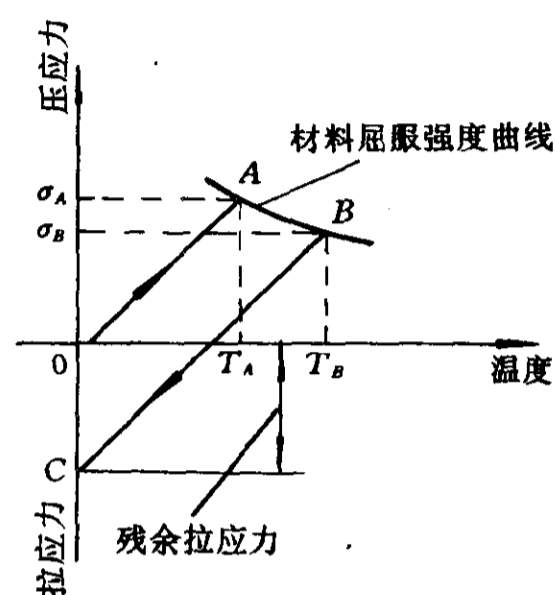


图 5-8 热塑性变形产生的残余应力

主,此时,表面层中将产生残余压应力。磨削加工,一般因磨削温度较高,常以相变和热塑性变形产生的拉应力为主,所以表面层常带有残余拉应力。

四、刀具切削时影响表面质量的工艺因素

用金属刀具进行切削加工时,主要有下述工艺因素影响表面质量:

1. 与加工用量有关的因素

切削速度 v 、进给量 f 和切削深度 a_p 对切削力 F_r 、切削温度 θ 、冷作硬化的深度 h 和程度 N 的影响,比较复杂。

当切削速度 v 很低时,切削温度 θ 也低,所以不会产生恢复现象,所以有比较大的硬化(h 和 N)。

当 v 增高时,温度提高,因切削热的影响,部分硬化有恢复现象。同时因温度升高后使待切削金属软化而使切削力下降,也就使硬化降低。

当 v 很高时,出现脆性断裂,表面层中很少发生塑性变形,因此硬化较小。如图 5-9 所示。

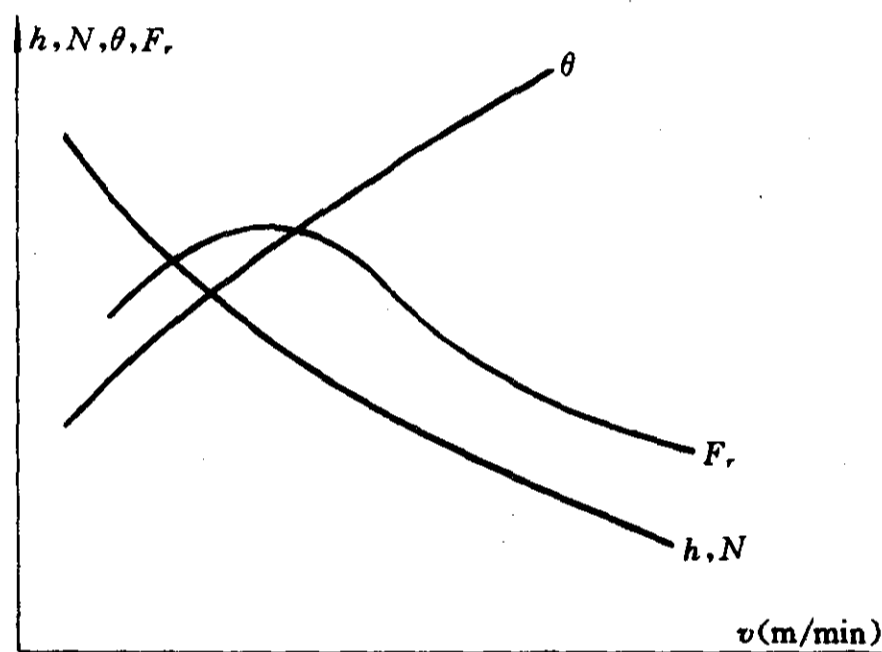


图 5-9 切削速度与表面层性质的关系

进给量 f 对硬化影响很大。 f 增加后,切削厚度增加,因此使切削力加大,塑性变形相应增大,使表面硬化增加。因为 F_r 的增加,切削温度也有提高。

当 f 很低时,由于刀具圆角半径对工件表面的挤压次数增多(在单位长度内),因此硬化增加,如图 5-10 所示。

切削深度 a_p 对硬化的影响与进给量相似,但作用较弱,如图 5-11 所示。

加工用量对残余应力的影响比较复杂。它与工件的材料、原来的状态以及具体的加工条件等有关。在一般情况下,在中等切削速度时,常产生残余拉应力,在速度很低或很高时,则产生残余压应力。关于进给量,残余应力的大小及波及的深度均随进给量的增加而增加。切削深度增加,残余应力也随之稍有增加。

2. 与切削刀具有关的因素

前角 γ_0 的变化,对表面质量有很大的影响。 γ_0 角增大,塑性变形程度降低,并减小了楔角,使刃口圆角半径 ρ 也可减小,但 γ_0 角不能在大范围内变化,所以对冷作硬化来说, γ_0 角不是主要因素。

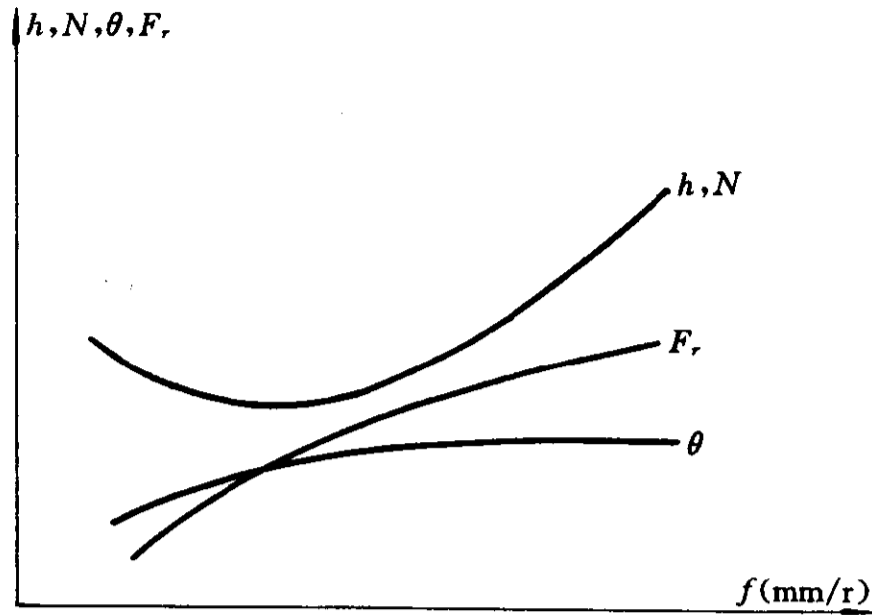


图 5-10 进给量与表面层性质的关系

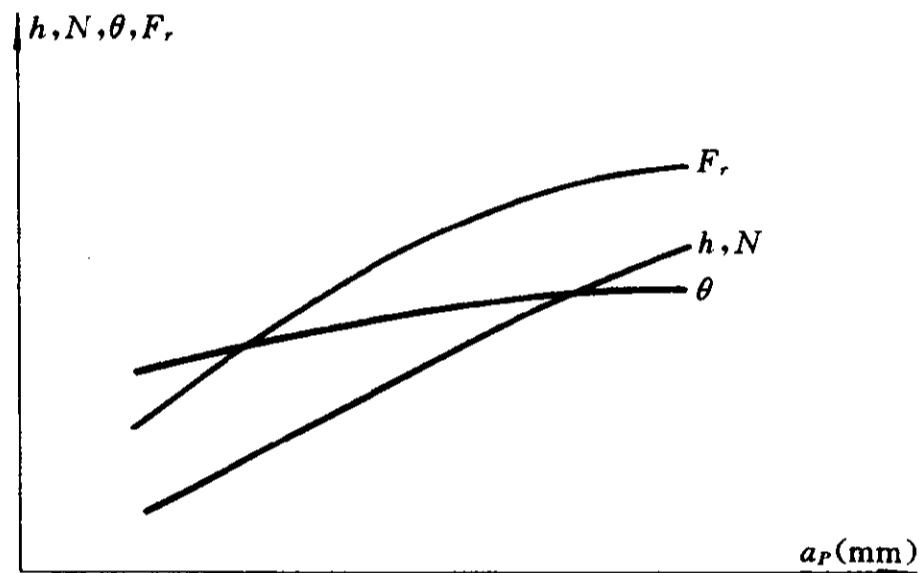


图 5-11 切削深度与表面层性质的关系

γ_0 角变化对残余应力的影响较大。如采用不同的前角加工合金钢 18CrNiWA 时,残余应力的变化就很大,如图 5-12 所示。

图 5-12(a)的切削速度为 150m/min,图 5-12(b)的切削速度为 750m/min。

当用负前角加工时,表面层一般产生残余压缩应力。在 $v=150\text{m/min}$ 时, γ_0 由正变负,拉伸应力逐渐转变为压缩应力;当 $v=750\text{m/min}$ 时,所有负前角均为压缩应力。这是因为负前角在切削时产生较大的塑性变形,它使金属的比容增加,产生了残余压缩应力。当 v 很大时,温度影响减弱,因此更容易产生残余压缩应力。

后角 α_0 增大,可使摩擦减小,同时可使刃口的半径 ρ 减小,因而使硬化和残余应力减小。但因后角受到刀刃强度的制约,后角变化不大,所以对表面层的影响较小。

刀尖的圆角半径 r_s 在切削加工中有挤压作用而造成附加的塑性变形,对硬化与残余应力有影响。 r_s 愈大,影响也愈大。

刃口圆角半径 ρ ,对切削也有挤压作用而造成附加的塑性变形, ρ 愈大,硬化和残余应力也愈大。一般刀具在刃磨后, ρ 的最小值一般在 $15\sim 25\mu\text{m}$ 之间。经过光磨的刀具,一般在 $12\sim 20\mu\text{m}$ 之间。特别仔细的可达 $2\sim 6\mu\text{m}$ 之间。

刀具磨损后,对硬化及残余应力都有很大的影响。刀具磨损到一定程度时,切削力显著增

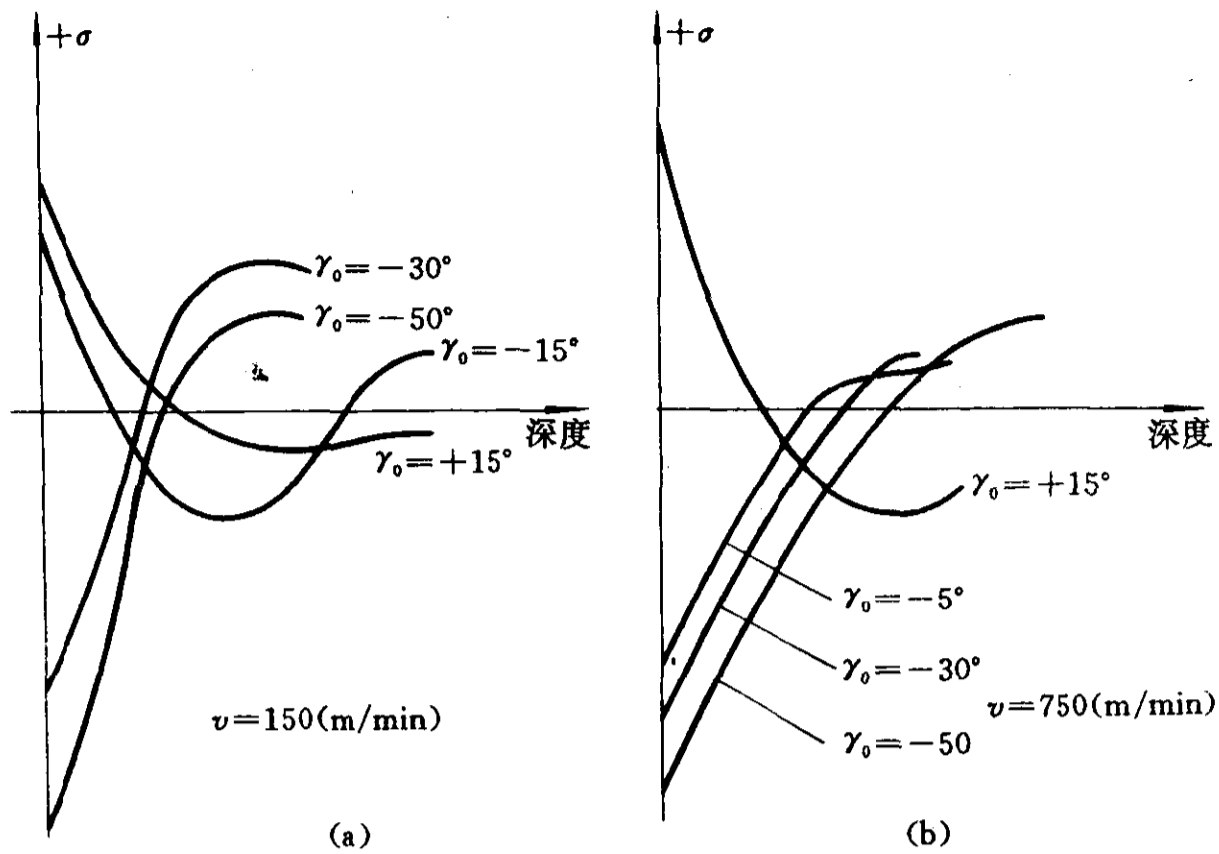


图 5-12 刀具前角对残余应力的影响

加,同时刀具和工件的摩擦也加大,这就使表面层塑性变形增加,从而使表面层硬化深度和程度增加。磨损加大后,表层的温度也有变化,使残余应力也随这些因素而变化。

图 5-13 所示为端铣刀在不同磨损带宽度的情况下,加工 40CrNiMoA(刀具材料为 YT15)时,表面层深度与残余应力变化的情况。

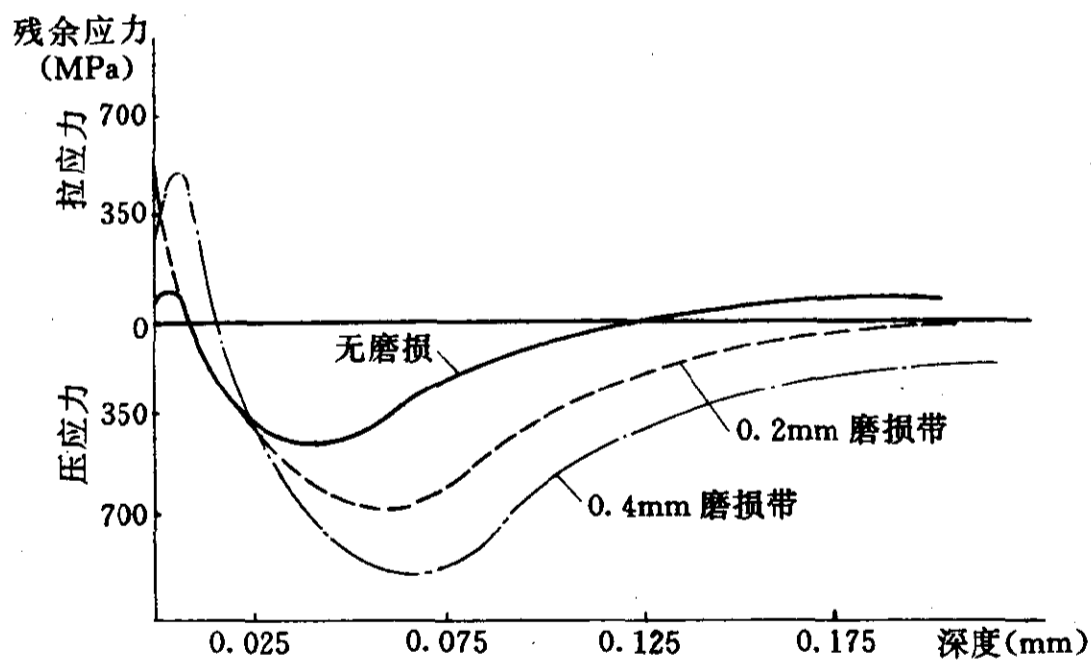


图 5-13 刀具磨损对残余应力的影响

3. 与零件材料有关的因素

零件材料的金相组织对硬化有明显的影响。在一般情况下,原来的硬度愈高,加工时的塑性变形就愈小。材料的塑性愈好,则加工时的硬化也愈大。

五、磨削加工时影响表面质量的工艺因素

与使用金属刀具相比较,磨削时的金属去除率很小,如磨平面的金属去除率仅为铣削时的

1/20,而切除单位重量金属所需的功率却大得多。另一方面,切削速度很高,切削是在暂短的时间内进行的。因此,磨削热成为影响表面层性质的主要因素。加工过程中产生的磨削裂纹、烧伤和残余拉应力等,均起因于磨削热,所以,降低磨削时热的影响是十分重要的。

解决这一问题,主要可以采取以下工艺措施:

1. 提高冷却效果

现有的一般冷却方法的效果较差。由于高速旋转的砂轮产生强大的气流,致使没有多少冷却液能进入磨削区,而常常是大量地喷注在已经离开磨削区的已加工表面上。此时,磨削热已进入工件表面造成了热损伤。所以,必须改进冷却方法以提高冷却效果。具体的改进措施有:

- (1) 采用高压大流量冷却;
- (2) 加装空气挡板,使冷却液能顺利的进入磨削区;
- (3) 采用内冷却砂轮。

2. 改善砂轮的磨削性能

砂轮选择不适当或使用钝的砂轮,均会产生很大的磨削力和磨削热,从而引起表面层的烧伤和残余拉应力。

磨削时选择砂轮应使其在磨削过程中有自锐能力,不致使砂粒因磨损而出现小平面,同时要求磨削时砂轮不产生堵塞现象,以避免产生过高的磨削温度。

砂轮的粘结剂也会影响加工表面层的质量。用橡胶作粘结剂的砂轮具有一定的弹性,在精加工使用时,可防止表面烧伤。

3. 选择合适的加工用量

提高工件速度,采用小的切深能够有效地减小残余拉应力并消除烧伤与裂纹等磨削缺陷。

图 5-14 所示为磨削切深对残余应力的影响。

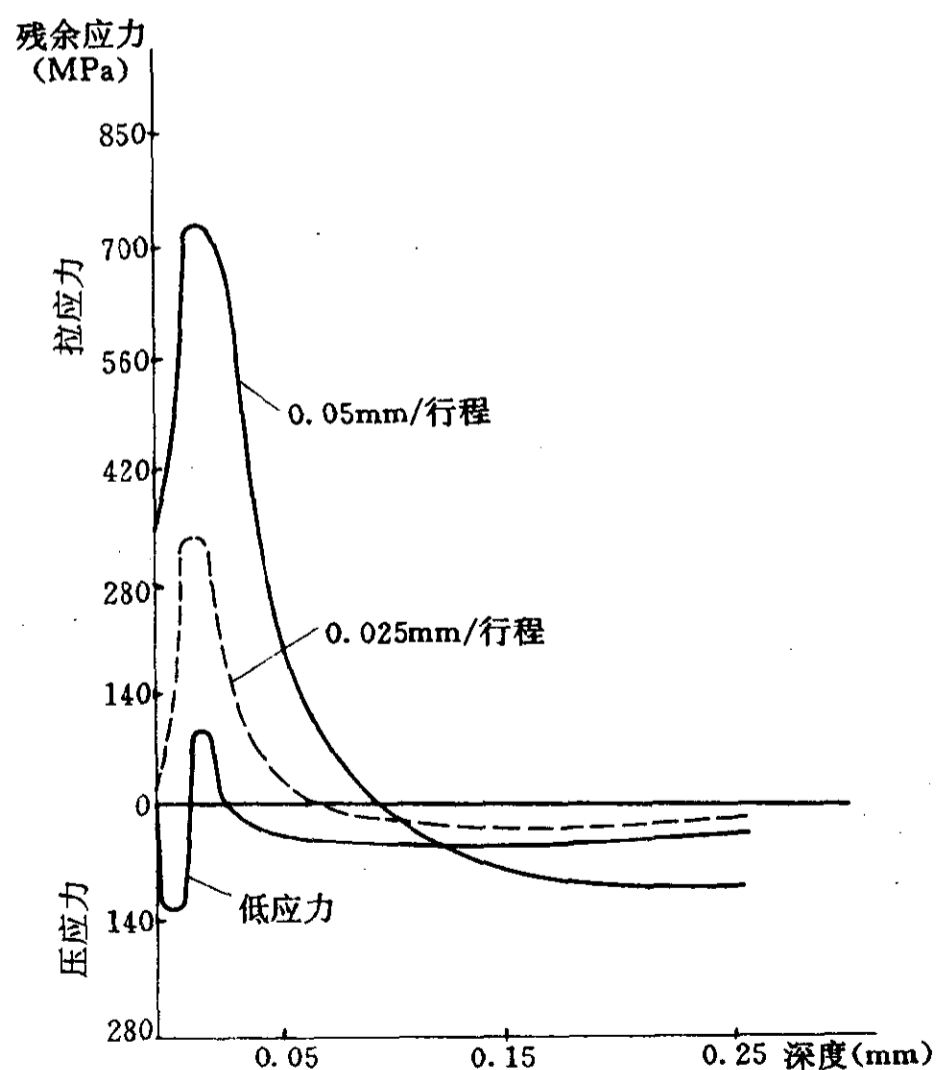


图 5-14 磨削切深对残余应力的影响

减低砂轮速度,也能得到残余压应力,如图 5-15 所示。由于降低速度要影响生产率,故一般较少采用。若在提高砂轮速度的同时提高工件的速度,也可避免烧伤。

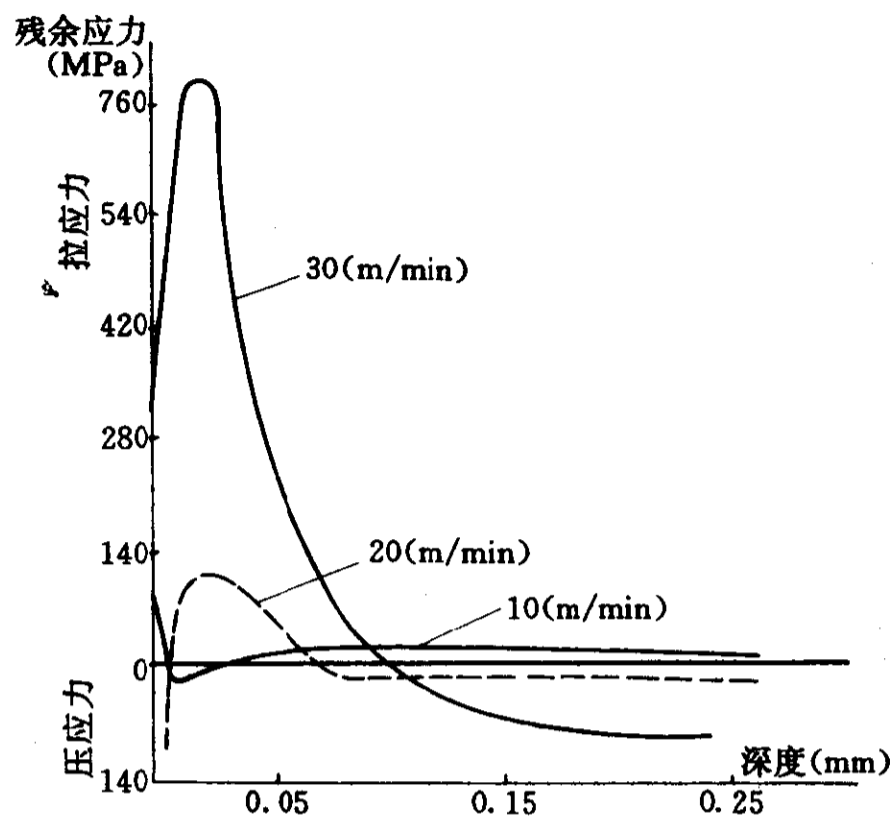


图 5-15 砂轮速度对残余应力的影响

对于高强度钢,特别是航空、航天部门越来越广泛采用的镍基和钴基等高温合金及锻造的钛合金等,近年来采用低应力磨削,获得较好的效果。

低应力磨削的特点是:

- (1) 采用较软的砂轮(一般用 ZR_2);
- (2) 较低的砂轮速度(10~15m/s);
- (3) 较小的切入进给量(0.005~0.013mm/行程,在最后 0.05mm 余量用 0.005mm/行程进行送进);
- (4) 使用活性冷却液(钢:高硫化油;钛:亚硝酸钾)。

§ 5-5 工艺系统的振动及控制方法

在机械加工过程中,有时会产生振动。

振动时,工艺系统的正常切削过程受到破坏,工件和切削工具等除作正常的相对运动外,还作周期性的摆振,从而在已加工表面上留下振动的痕迹。使被加工表面的粗糙度变坏,对表面层的物理机械性能也有影响。振动会影响刀具的寿命,甚至使加工过程无法进行。振动还会使机床加快损坏。切削过程中的高频振动,噪声极大,污染环境。

为了避免振动的产生,常常被迫采用较小的加工用量,限制了生产率的提高。磨削时,其振动虽不如车削及铣削那样剧烈,但其危害也很大。如使粗糙度变坏,有时还会引起振动烧伤,严重地影响表面质量。

一、机械加工中振动的类型及特点

金属切削加工时,振动的基本类型有两种,即强迫振动和自激振动。这两种振动都是不衰减振动,危害很大。

此外,在切削加工过程中,还会出现自由振动,它是由于切削力突然变化或其他外界冲击等原因所引起的。但这种振动是很快会衰减的。因此,对切削加工过程的影响不大。

1. 强迫振动

强迫振动是受外界干扰而引起的,其主要特点如下:

- (1) 强迫振动在外界周期性干扰力作用下产生,其振动本身并不能引起干扰力的变化;
- (2) 强迫振动的频率,总是与外界干扰力的频率相同;
- (3) 强迫振动的振幅大小,在很大程度上取决于干扰力的频率和系统自然频率的比值。

当比值等于或趋近于1时,振幅达到最大值,这种现象称为共振。强迫振动的振幅大小还与干扰力的大小、系统的刚度及阻尼有关。干扰力愈大,刚度与阻尼愈小,则其振幅就愈大。

消除或减弱强迫振动的途径有:

- (1) 消除或尽量减小干扰力;
- (2) 采取隔离措施,使干扰力不传到系统中来;
- (3) 增大系统刚度与阻尼,避免出现共振现象。

2. 自激振动

在机械加工过程中,经常出现的一种振动,是由振动过程本身引起某种切削力的周期性变化,又由这个周期性变化的切削力,反过来加强和维持振动,使振动系统补充了由于阻尼作用而消耗的能量。这种类型的振动,称为自激振动。

自激振动的特点如下:

- (1) 自激振动是一种不衰减的振动。振动本身能引起某种力的周期变化。通过这种力的变化,从中获得能量补充,运动一停止,力的变化和能量的补充也就停止;
- (2) 自激振动的频率,等于或接近于系统的自然频率;
- (3) 自激振动的振幅大小,以及振动能否产生,取决于每一振动周期内,系统所获得的能量与消耗的能量对比情况。

当振幅为某一值时,如果获得的能量大于所消耗的能量,则振幅将不断加大。相反则振幅减小。振幅的增大或减小,直到能量平衡时为止。

减弱或消除自激振动的方法是:

- (1) 减小振动系统获得的能量;
- (2) 减小切削力和增加系统刚度。

二、自激振动

在加工过程中,工件和切削工具在振动时,它们时而相离,时而趋近。当工件和刀具作相离运动时,切削力 $F_{\text{相离}}$ 与工件位移方向相同,因而所作之功为正值(图5-16(a)),当工件趋近刀具时,切削力 $F_{\text{趋近}}$ 作功为负值(图5-16(b))。

加工过程中产生自激振动的根本原因,是振动过程引起了切削力的变化,并使 $F_{\text{相离}} > F_{\text{趋近}}$ 。这样,在每一振动周期中,切削力对工件(或刀具)所作之正功总是大于它所作之负功,因

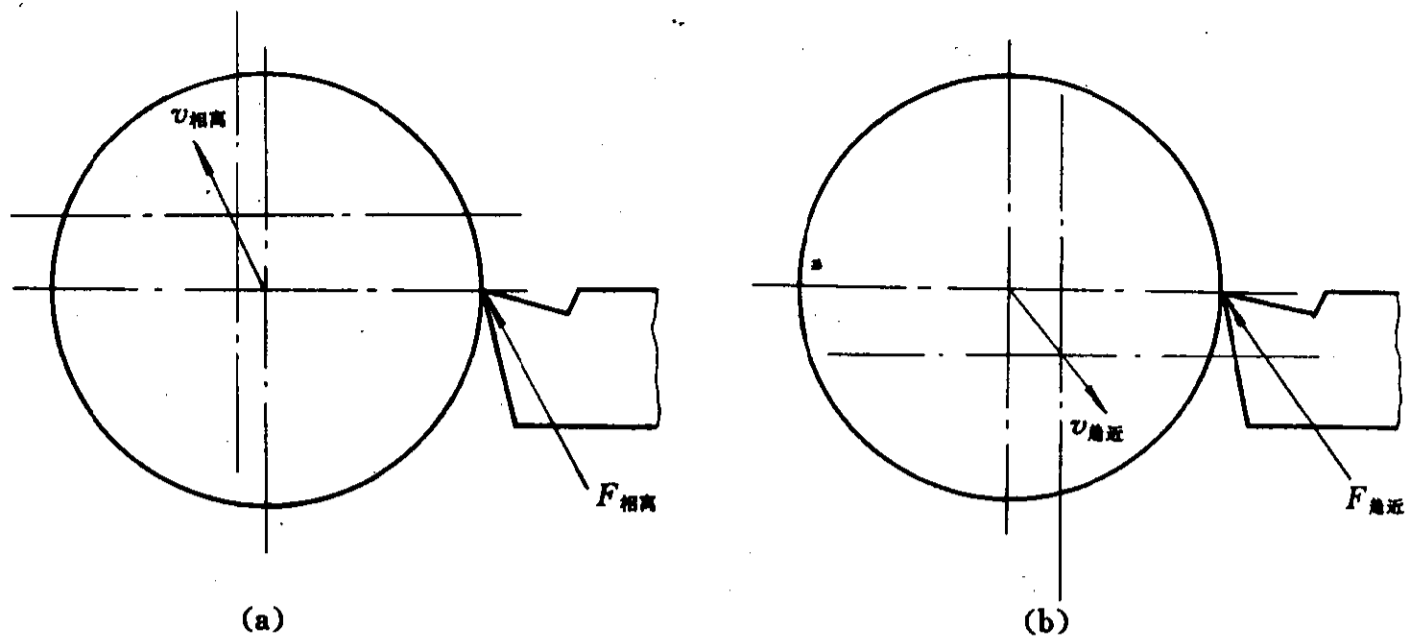


图 5-16 振动时切削力与工件运动的方向

而使系统获得能量补充。

关于在加工过程中,引起切削力改变的原因,有很多种假说,较为著名的有以下几种。

1. 再生切削自振原理

在机械加工过程中,后一次走刀和前一次走刀的切削区有时会有重叠部分,如图5-17所示为外圆磨削的情况。

设砂轮宽度为 B ,工件每转进给量为 f ,砂轮前一转的磨削区和后一转的磨削区有重叠部分,其大小可用重叠系数 K_l 来表示,则

$$K_l = (B - f)/B$$

前后两次完全重叠时, $K_l = 1$,无重叠时, $K_l = 0$,在一般情况下, $K_l = 0 \sim 1$ 。

在稳定切削过程中,由于随机因素的扰动,工件和刀具产生振动,从而在加工表面上留下了振痕,当第二次走刀时,刀具就在有波纹的表面上切削,从而使切削厚度有周期性的变化,引起了切削力的周期变化,产生了自激振动。

在切削过程中,前一次走刀和后一次走刀有如图 5-18 所示的三种情况:

图中 Y_0 表示前一次走刀后的工件表面, Y 表示后一次走刀后的工件表面。

从图 5-18(a)可以看出,工件在前后两次走刀间没有相位差, $\varphi = 0$ 。因此,切削厚度基本保持不变,切削力保持稳定,不产生自激振动。

图 5-18(b)中,则表示了 Y 比 Y_0 滞后一个相位角 φ 。因此,刀具切入时的半个周期中的平均切削厚度比切出时的平均厚度小,因此,切入时平均切削力比切出时小。所以在一个周期中,切削力的正功大于负功,有多余的能量输入系统中,振动得以加强与维持。

图 5-18(c),与(b)相反, Y 比 Y_0 超前了一个相位角 φ ,切入时的平均厚度大于切出时的平均厚度。在一个周期中,切削力所作的负功大于正功, Y 就不断减小,不会产生自激振动。

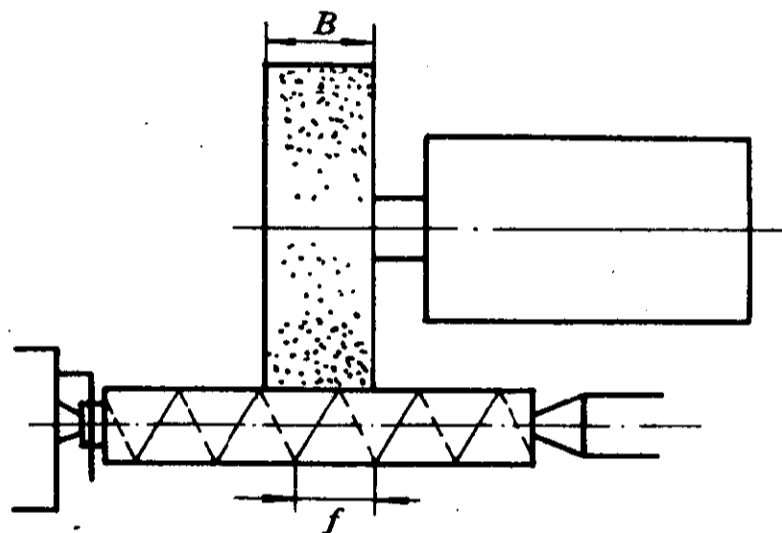


图 5-17 磨削时的重叠切削

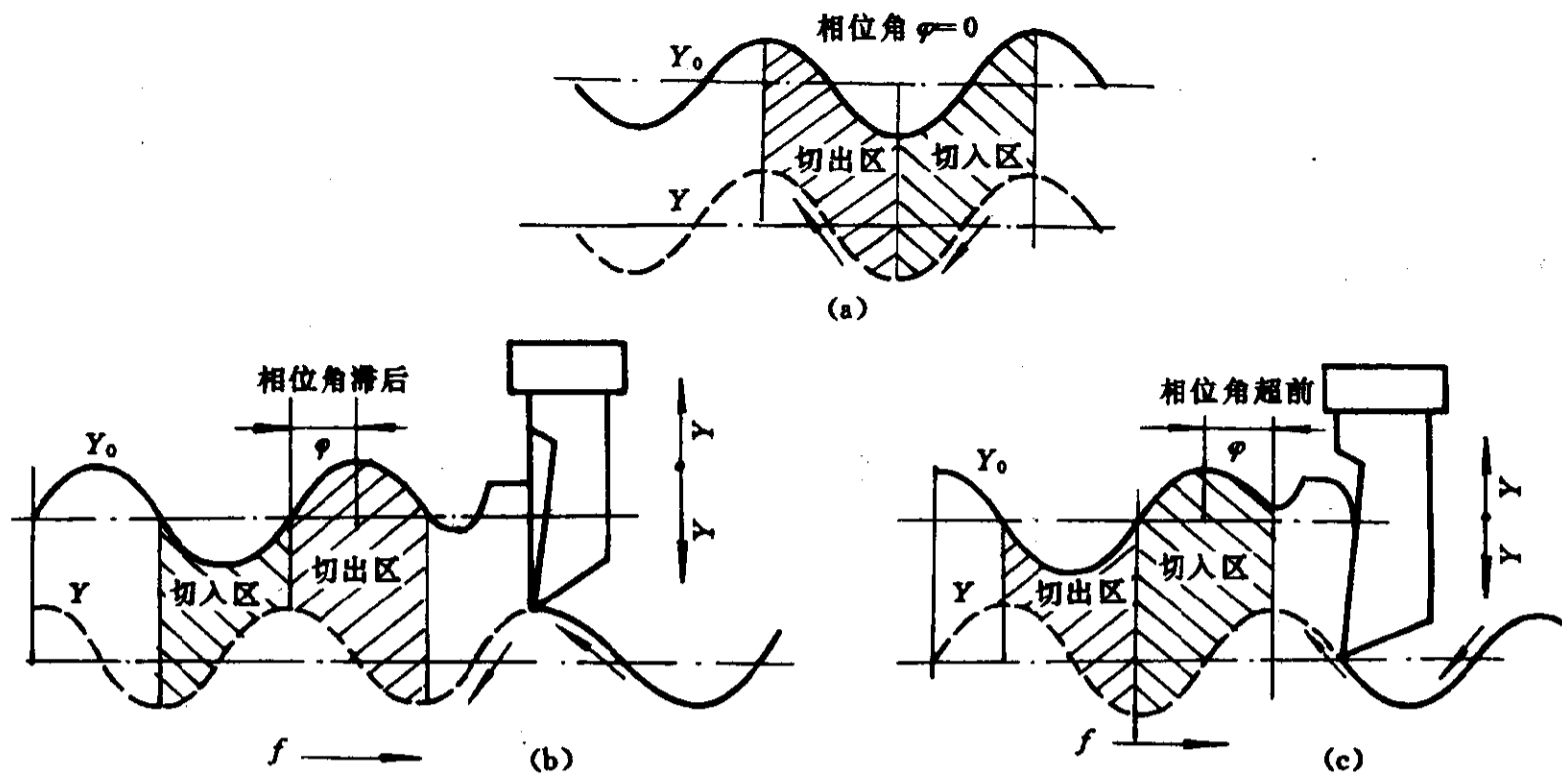


图 5-18 再生切削振动分析

2. 振型耦合自振原理

当在加工无切削振痕的表面时,如加工矩形螺纹的外圆时,在一定切削条件下,也会产生自激振动。振型耦合原理是以工艺系统作为一个多自由度系统,各个自由度上的振动相互联系而使系统获得能量,以维护其振动的一种假说。

其原理如图 5-19 所示。

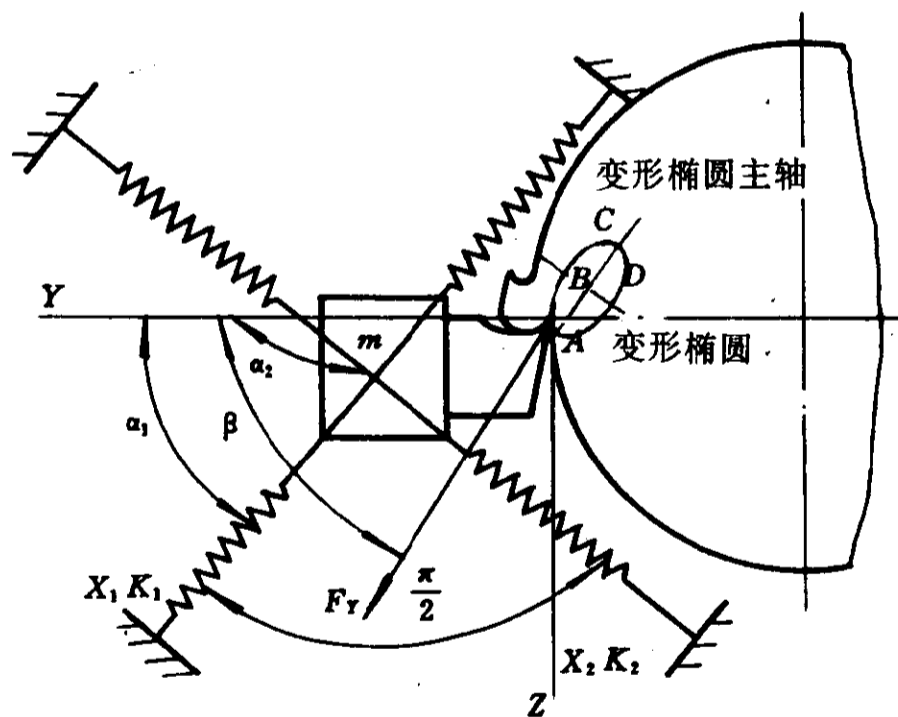


图 5-19 振型耦合原理模型

设切削过程中的工艺系统为具有两个自由度的二维振动系统。

质量为 m 的刀具和刀架系统分别以弹性系统数为 k_1 和 k_2 的两根互相垂直的弹簧支持着,并在 (X_1) 和 (X_2) 两个不同的方向上以频率 ω 作平面振动,由于 k_1, k_2 以及弹簧和切削力的方向等因素的组合影响,使刀尖的运动轨迹近似于图中的 $ABCD$ 椭圆。若振动时刀具沿着 ABC 的轨迹切入工件,它的运动方向和切削力 F_t 相反,切削力作负功,若沿着 CDA 轨迹退出

时,则 F_r 作正功。由于切出时的切削深度比切入时大,切削力作的正功大于负功。在一个周期中,便有多余能量输入系统,支持并加强系统的自振。

若工件和刀具的相对运动轨迹沿着 $ADCB$ 的方向进行,则切削力 F_r 所作负功大于正功,振动无法维持,原有的振动会不断衰减。

3. 负摩擦自振原理

在加工韧性钢材时,切削分力 F_y 随切削速度的增加而加大,当达到一定速度后,切削分力 F_y 随速度增加而下降。

由切削原理知,径向切削分力 F_y 主要取决于切屑和刀具相对运动所产生的摩擦力, F_y 的改变主要是摩擦力的改变。摩擦力是随摩擦时的相对速度增加而减小的,这称为负摩擦特性。

在机械加工系统中,具有负摩擦特性的系统容易激发自激振动。图 5-20 所示为车削时的情况。

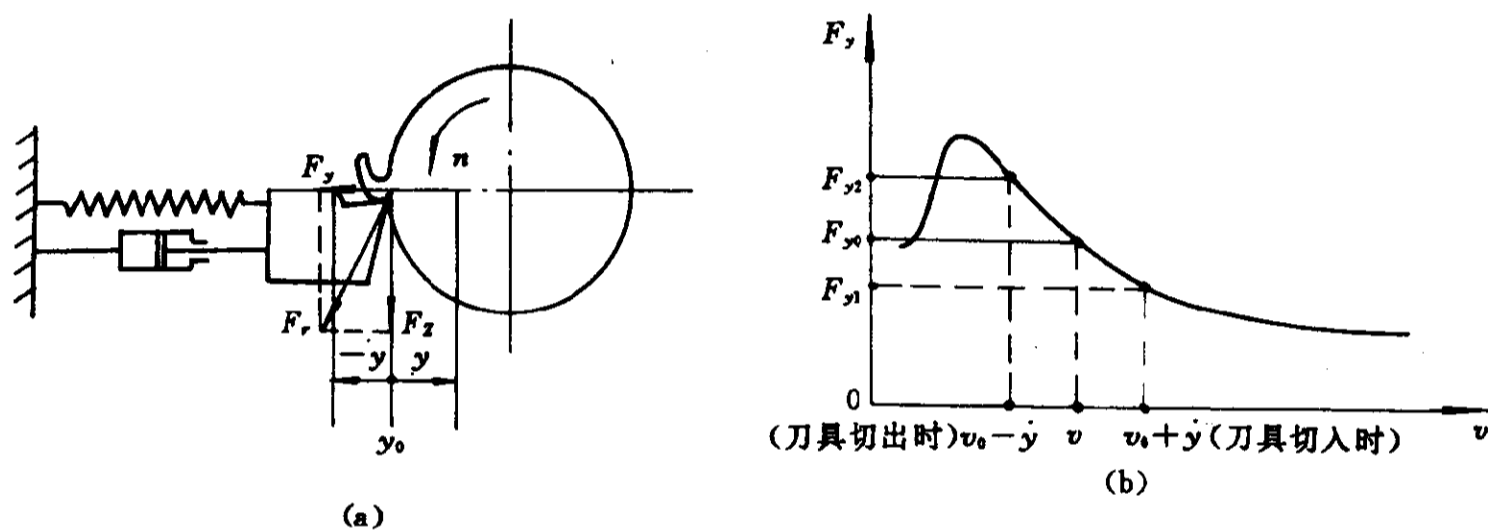


图 5-20 负摩擦自振原理

图 5-20(a)是车削加工示意图,(b)为径向分力 F_y 与切屑和刀具前面相对摩擦速度 v 的关系曲线。

在稳定切削时,刀具和切屑的相对滑动速度为 v_0 。当刀具发生振动时,刀具前面和切屑的相对摩擦速度便要附加一个振动速度 \dot{y} ,刀具切入时,相对速度为 $v_0 + \dot{y}$,刀具退出时,其相对速度为 $v_0 - \dot{y}$,它们分别使径向分力由 F_{y0} 改变为 F_{y1}, F_{y2} 。所以,刀具切入的半个周期中,切削力所做的负功小于刀具在切出时所作的正功。在一个振动周期中,便有多余的能量输入振动系统。

4. 前角变化自振原理

切削力与刀具在加工时的实际前角有关。前角增大,切削力就下降。反之,切削力便增大。前角在振动过程中的变化如图 5-21 所示。

当刀具以切速 v 切削工件时,刀具前角为 γ_0 ,径向分力 F_y 在工件法线 OC 方向作用于刀具上,如果刀具在水平方向振动,刀尖振动速度为 \dot{y} ,当刀具切入工件时,刀尖相对于工件的合成速度方向便为 OA' 方向,法线位置也由 OC 转到 OC' ,前面 OD 的方向不变,因此,实际前角 γ'_0 比 γ_0 增大了 $\Delta\gamma'_0$ (图 5-21(b))。

$$\Delta\gamma'_0 = \text{tg}^{-1}(\dot{y}/v)$$

当刀具从工件退出时,如图 5-21(c)所示,其合成速度的方向为 OA'' ,工件法线方向由原来的 OC 转变到 OC'' 。此时,实际前角 γ''_0 比 γ_0 小了一个 $\Delta\gamma''_0$ 。

$$\Delta\gamma''_0 = -\text{tg}^{-1}(\dot{y}/v)$$

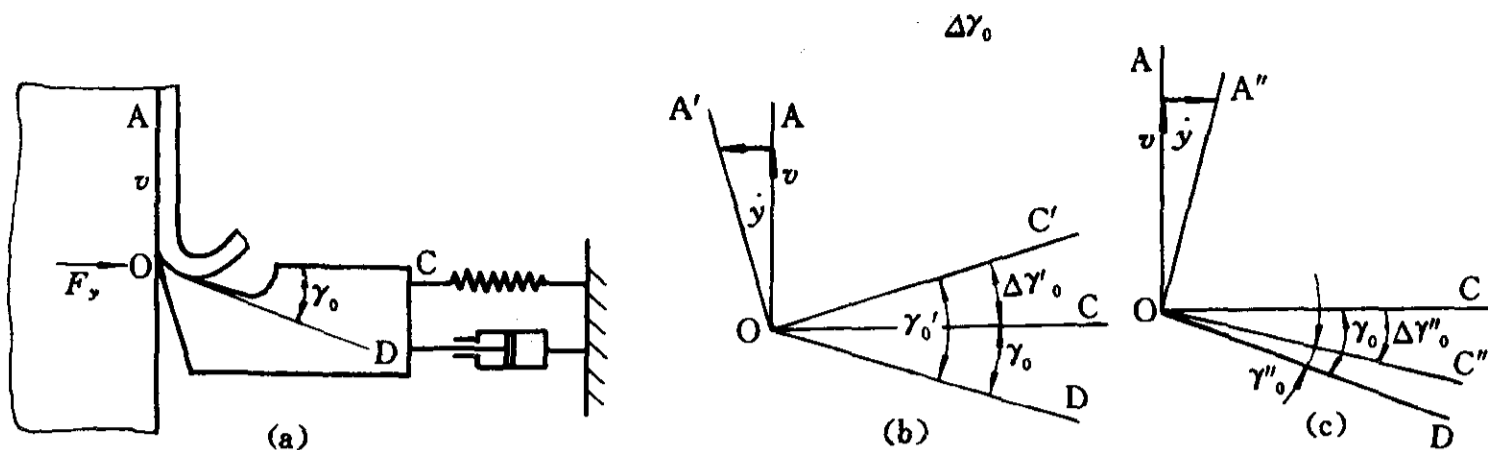


图 5-21 前角在振动过程中的变化

由于前角增大, 径向切削分力 F_y 减小, 此时 F_y 与 Y 方向相反, 因此, 切削力作负功。当前角变小时, 径向切削分力 F_y 加大, 而此时 F_y 与 Y 的方向相同, 切削力作正功。所以切削力所作的正功大于负功, 系统能从固定能源中吸取能量, 使自振得以产生。

5. 硬化自振原理

在加工时, 切削力与材料的硬度有关。当刀具在切入和退出时, 由于遇到的金属硬化程度不同而使切削力产生周期性变化。当切入时, 切削刃遇到的是硬化较小的材料, 切削力较小, 切削力与位移方向相反, 作负功。当退出时, 切削刃是遇到硬化程度较大的材料, 切削力较大, 切削力与位移方向相同, 作正功。所以切削力作功是正功大于负功, 系统获得能量, 产生和维持自激振动。

三、减小振动与提高稳定性的措施

减小振动, 提高切削加工的稳定性, 可采取下述措施:

1. 合理地选择切削用量

(1) 切削速度的选择

一般在一定的切削速度下, 有时会较易产生自激振动。图 5-22 所示为车削中碳钢时切削速度对振幅的影响。

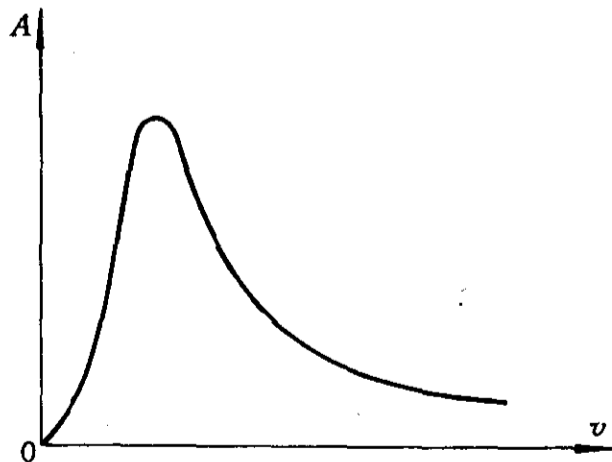


图 5-22 切削速度与振幅曲线

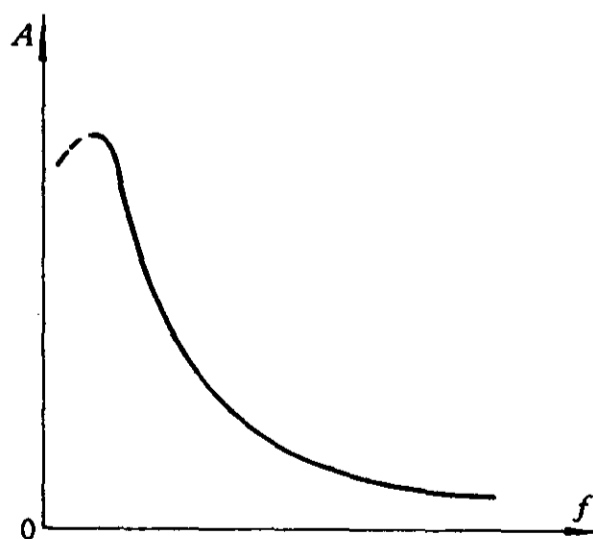


图 5-23 进给量与振幅曲线

当切削速度在 $30 \sim 60 \text{m/min}$ 的范围内时, 容易产生自振, 相应振幅也最大。

因此, 为了避免切削产生振动, 实现稳定切削, 一般切削速度应在低速或高速的范围内

选择。

(2) 进给量的选择

加大进给量,工艺系统不易产生自振。如图 5-23 所示。

进给量 f 加大,振幅 A 下降。但 f 增加后要影响表面粗糙度。因此,在加工时,应在粗糙度的许可条件下,选取较大的进给量。

(3) 切削深度的选择

随着切削深度 a_p 的增加,振幅 A 也增大,如图 5-24 所示。

为减小振动,可减小 a_p ,但会导致生产率下降。因此,一般都优先采用调整切削速度和进给量的办法来抑制振动。

2. 合理地选择刀具的几何参数

合理地选择切削工具的几何参数,是保证稳定切削的重要措施。对产生振动影响较大的几何参数有:前角 γ_0 、主偏角 K_r 、后角 α_0 和刀尖半径 r_n 。

(1) 前角 γ_0

切削速度 v 较低时,随着正前角的加大,振动随之减弱,切削的稳定性增加,如图 5-25 所示。

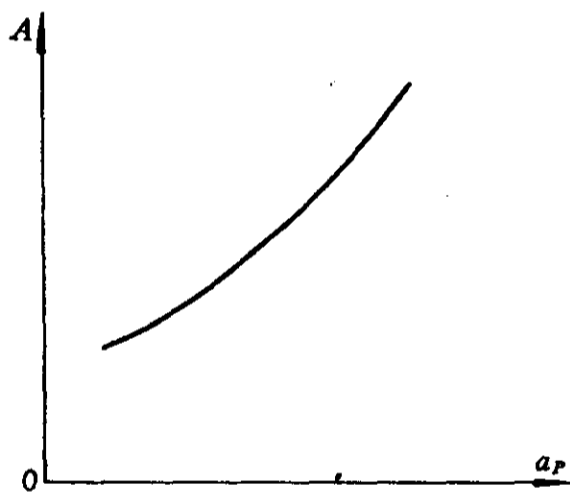


图 5-24 切削深度与振幅曲线

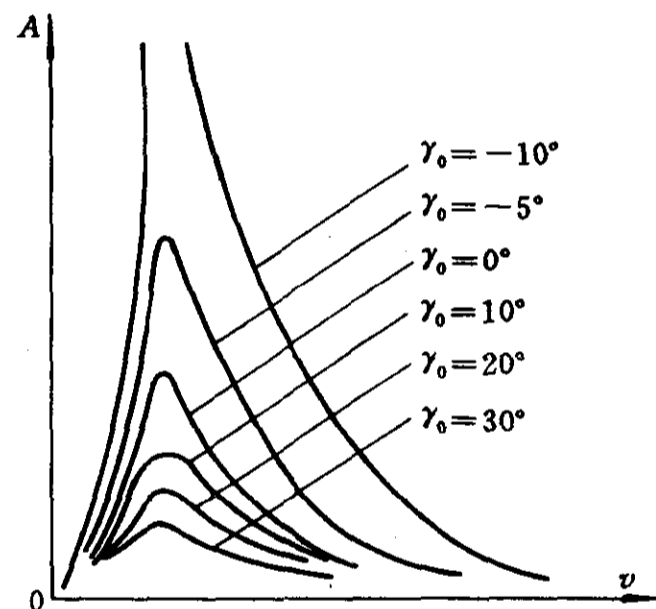


图 5-25 前角与振幅的曲线

当切削速度较高时,前角对振动的影响减弱。因为前角 γ_0 要影响刀尖的强度,所以,在中、低速加工时,可选用较大的前角,在高速加工时,才选择负前角加工。

(2) 主偏角 K_r

随着主偏角 K_r 的增大,振幅将逐渐降低,如图 5-26 所示。

主偏角 K_r 增大,垂直于加工表面的切削分力 F_y 将减小,因此不易产生自振。

(3) 后角 α_0

减小后角 α_0 ,有利于稳定切削,这是由于刀具后面和工件间摩擦加大,增大了正阻尼。但是, α_0 过分减小,会使后面与工件之间产生太大的摩擦,有时反会引起切削不稳定。

在实践中,采用后面上磨出一倒棱,对消振有很好的效果,倒棱如图 5-27 所示。

(4) 刀尖半径 r_n

刀尖半径 r_n 增大,则径向切削分力 F_y 将随之加大,所以刀尖半径 r_n 愈小,则愈不易产生

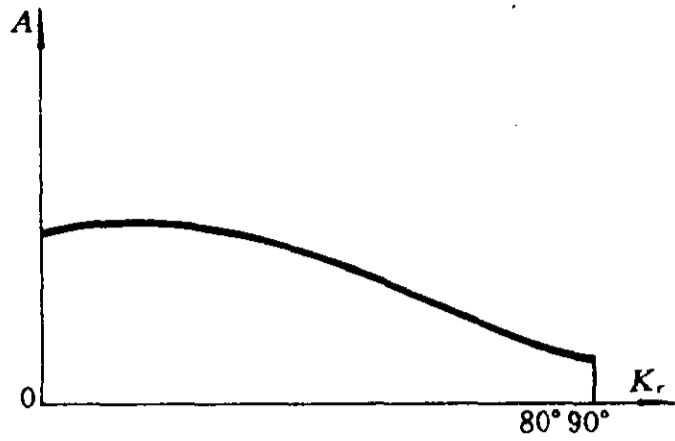


图 5-26 主偏角与振幅的曲线

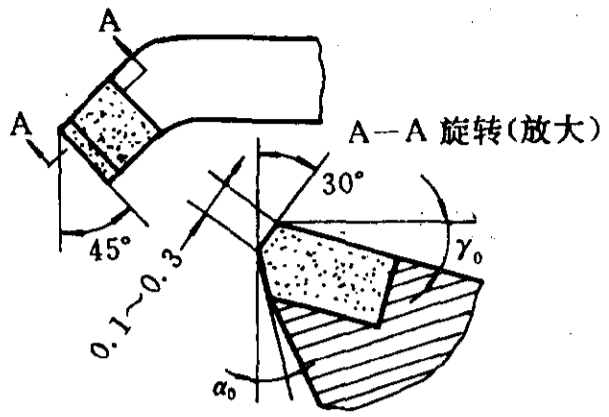


图 5-27 具有消振倒棱的车刀

振动。但是,减小刀尖半径 r_c ,不但要影响刀具寿命,而且还要使表面的加工粗糙度的 R_a 值增大。所以,在选择刀尖半径时,要综合上述因素来选择。

3. 提高工艺系统的抗振性

提高工艺系统的抗振能力,是减小切削加工过程振动的最基本的措施。一般可采取下述措施:

(1) 改善机床结构以提高抗振性

增加机床的刚度,特别是增加机床主轴部件、刀架部件、尾座部件和床身等的刚度,是提高抗振能力的重要手段。另外,提高机床的制造和装配质量可使接触刚度增加,并能增加阻尼系数,从而使抗振能力增强。

还要合理安排各部件的固有频率,以避免由于机床内部干扰源的影响而产生共振。

(2) 增加工件及支承系统的刚度

在加工时,工件的刚度对加工稳定性也有极大的影响,尤其是在加工细长轴和薄壁盘时,更容易产生振动。如图 5-28 所示,工件愈细长,刚度就愈差,愈容易引起振动。

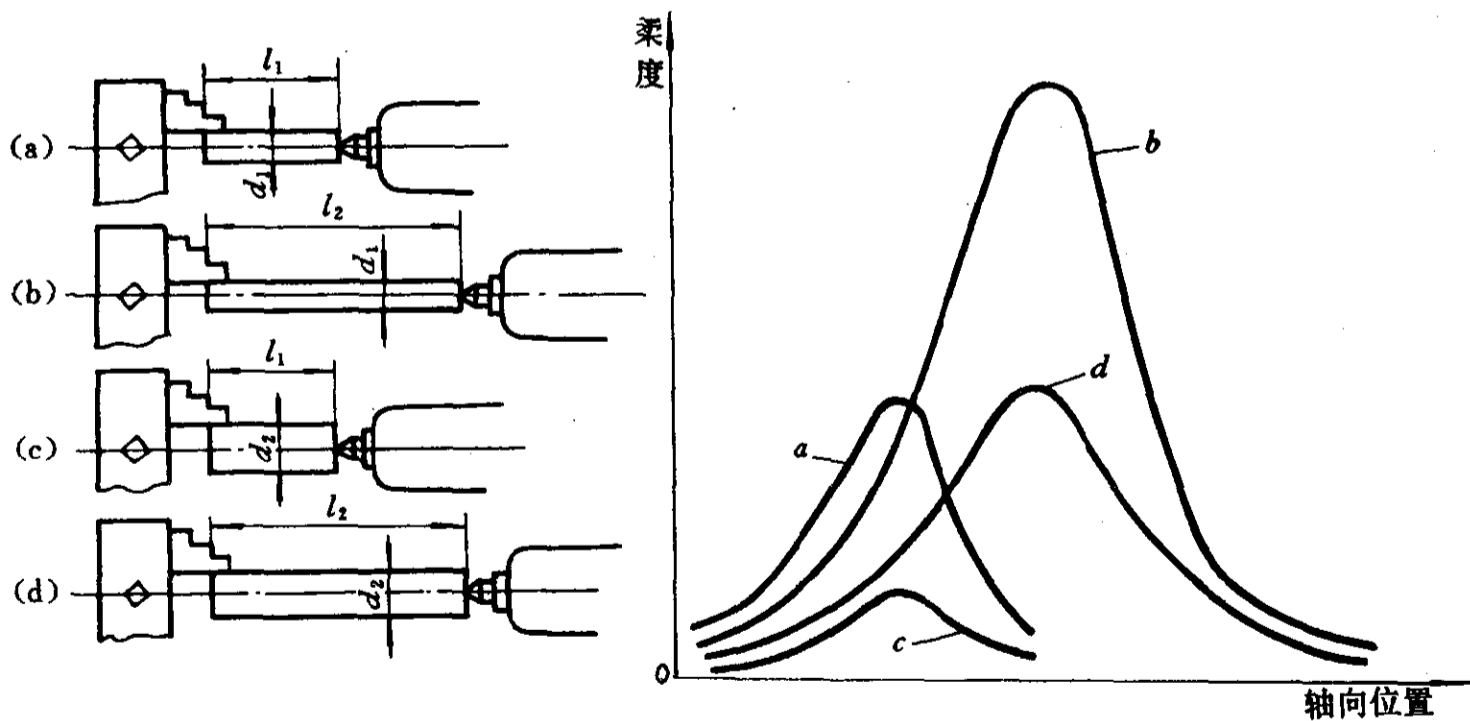


图 5-28 工件尺寸与柔度曲线

在这种情况下,因采用辅助支承,在车床上可采用中心架或跟刀架。薄壁盘形零件一般可采用双面车床,在两边同时加工,以减少变形和振动。

在镗床上加工时,刀杆也可采用支承件,以提高刚度,减少振动。

4. 消除或减少切削过程中的干扰源

切削过程中各种干扰源的影响,主要是使系统产生强迫振动。当干扰源的频率和某零部件的固有频率相近时,就要产生共振。干扰源有下列几种:

(1) 机床

机床回转零部件的不平衡所产生的离心力,在某一方向上的分力是一个周期激振力,要引起振动。

另外,由于齿轮等啮合不良而引起的冲击也会引起周期激振力而造成振动。

还有轴承、皮带与电机等也会引起强迫振动。

(2) 工件

工件回转时的不平衡,也会引起振动。另外,在加工不连续的表面时,也会产生振动。

(3) 刀具

在用多齿或单齿刀具进行铣削时,以及用滚刀、拉刀等工具加工时,由于不连续的切削,也会引起冲击振动。

上述几种干扰源,减少或消除的方法,一般是采用提高制造精度、消除不平衡力或采用减振装置。

减振装置的种类很多,如图 5-29 所示为刀具的消振器。

当刀具振动时,外壳也振动,但刀具与外壳是通过弹簧联接的,振动相位差一定的角度,所以外壳与车刀有相对运动(有一 Δ 间隙),产生冲击而消耗能量,以达到消除振动的目的。

对于外来的干扰源,一般均采取隔振措施。尤其是对于精密机床,常采用将整个地基隔离开来,并将机床安装在合适的弹性隔振器上。常用的隔振材料有橡胶、弹簧、软木和泡沫塑料等。

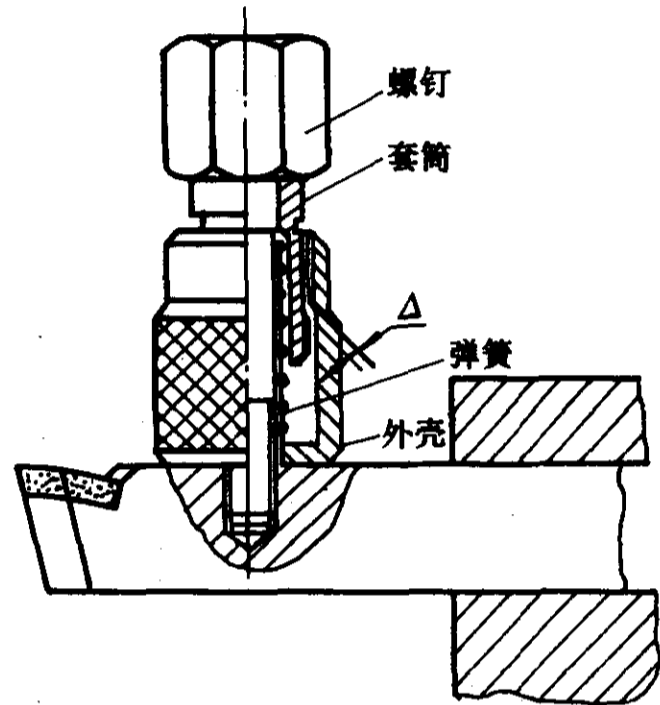


图 5-29 车刀用冲击式消振器

第六章 提高质量、生产率和经济性的措施

制造过程是一个十分复杂的过程,其中最根本的问题是如何保证质量、提高劳动生产率和降低成本。

质量、生产率和经济性是互有联系、互相影响的。在整个生产系统中,应从设计、制造、组织和管理几方面来采取措施,以提高产品的质量、缩短生产周期、降低生产成本,并及时调节生产、更新产品。

§ 6-1 设计工艺性

产品的设计工艺性,是指产品的设计是否能够或便于制造,以及是否能高效而又经济地生产。因此,设计工艺性对质量、生产率和经济性都有很大的影响。

一、改善设计工艺性的基本方向

改善设计工艺性,主要从下列几方面着手:

1. 选择合理的构造方案

机器的构造方案应使零件数目少,重量轻,性能安全可靠,并尽可能采用先进的结构,如钣金结构和轻合金结构等。

零件数目少,对生产准备、加工和装配等均有好处。重量轻,可以大大提高机器的性能。同时,重量轻不但可减少制造劳动量,而且可降低材料费用。

2. 标准化和统一化

在机械设计中,大量采用标准化与统一化的零件和组合件,将使制造周期大大缩短并使成本降低。此外,对使用与维修也带来很多好处。

标准化与统一化,在设计工艺性方面,主要指的是:

- (1) 材料及其品种和规格的标准化及统一化;
- (2) 标准零件和部件的选用;
- (3) 零件构形和结构要素的标准化与统一化;
- (4) 精度、粗糙度和技术要求的标准化与统一化,等等。

对零件材料的标准化和统一化,不但可便于更好地掌握材料的冷、热加工性能,从而可更好地保证质量,而且可大大有利于生产的组织与管理。

对某些零件,如螺栓、螺钉、螺母、垫圈与销子等,若采用标准件,可大大缩短制造周期并降低成本。

对于非标准的零、组件,可使其各组成部分标准化、统一化。如轴径和孔径的配合、圆角半径、斜棱、沟槽、键与花键、螺纹、齿轮的模数以及叶片榫头的型面及尺寸等等,标准化与统一化后,不但可减少有关的专用切削工具,而且对加工也会带来很多方便,可使生产中的各项指标有所改善和提高。

标准化与统一化在数量上的评定,一般可采用:

$$K_s = P_s/P_T$$

式中 K_s ——标准化系数;

P_s ——标准化零件数;

P_T ——零件总数。

3. 材料、毛坯和热处理

某些机械产品,特别是航空、航天器中采用的特殊材料很多,如钛合金、耐热钢和耐热合金等。这些材料的价格昂贵,而且加工性很差。如某些耐热合金的切削速度限制在 $6\sim 20\text{m/min}$ 左右,某些铸造耐热合金甚至无法用金属刀具进行切削加工。

所以,减少使用贵重而加工性差的材料,是提高设计工艺性和降低成本的途径之一。

毛坯制造与材料的性质和构形有关。随着机械制造工艺的发展,毛坯的精度不断提高,而使机械加工量逐渐减少。构形设计应符合现代毛坯制造方法的要求。某些零件由于构形复杂,锻件余量过大,例如发动机的涡轮盘其金属利用率只有 $5\%\sim 10\%$ 。图 6-1 所示为压气机盘,其中(a),(b),(c)的材料利用率只有 10% ,如果改成(d)的形式,材料利用率可以达 $40\%\sim 50\%$ 。

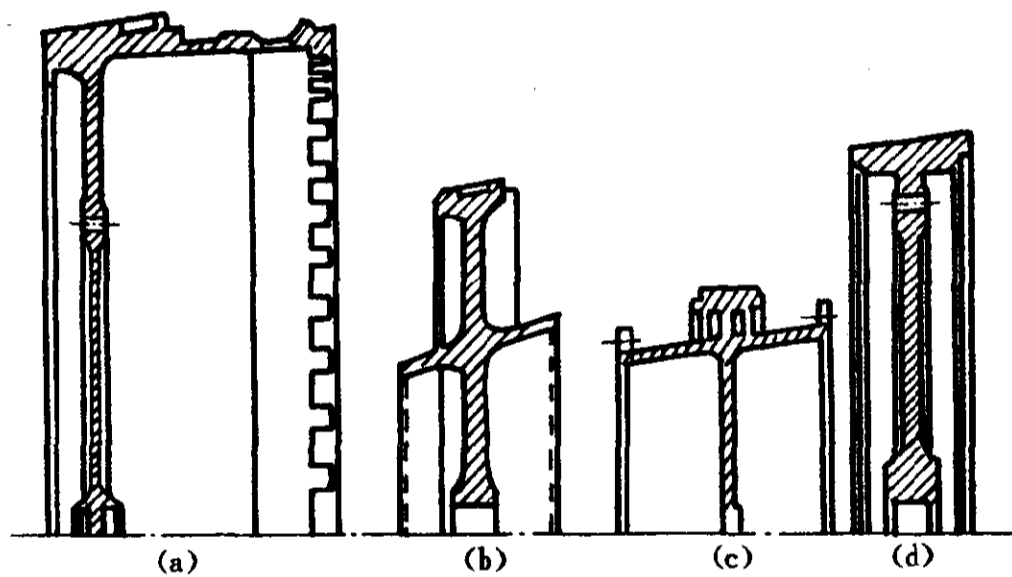


图 6-1 压气机盘的构形

另外,零件的构形,应适应热处理的要求。形状不同,热处理后的变形也不同。要求构形能保证变形小,不易产生裂纹,某些剖面不宜过大,使加热时间不致过长。

4. 机械加工工艺

机械加工在机械制造中有重要的地位。一般占总劳动量的 50% 左右。提高机械加工工艺性有很大的技术经济意义。

提高机械加工工艺性的方向如下所述:

(1) 提高零件几何形状方面的工艺性

- ① 零件形状及各部分的统一化和标准化;
- ② 简化零件的外形及加工表面;
- ③ 机械加工量要小;
- ④ 形状应适应采用高生产率加工方法的要求。

(2) 提高零件的尺寸及精度方面的工艺性

- ① 合理地选择主设计基准；
- ② 合理地标注设计尺寸系统；
- ③ 规定合适的精度及粗糙度等。

5. 装配工艺

装配工艺性必须从组件、部件及整机来分析,提高这方面的工艺性可以从以下几个方面来考虑:

- (1) 构造能分解成独立的装配单位并有适当的装配基准,便于组织平行装配,缩短装配周期;
- (2) 符合高生产率的要求,使操作方便,在大批、大量生产中,有可能实现机械化、自动化装配;
- (3) 尽量减少装配时的机械加工和钳工修配的劳动量,即能保证互换性。当不能采用完全互换性的装配时,可采用补偿件的办法来改善装配工艺性;
- (4) 便于装配后的分解与调整,并易于进行检验;
- (5) 使装配时使用的设备及特种工夹具种类尽量少。

6. 适应先进的工艺方法

设计的结构,应适应先进工艺的要求。

如近年来,大型环形件已经采用弯曲、焊接及扩径辗压等工艺。所以在设计时,一般不带很大的法兰边。涡轮轴等采用空心锻造,压气机叶片采用叶型无余量挤压或精压等等。因此,在设计时,应考虑该工艺的特点及其要求等问题。

二、机械加工工艺性

机械加工是制造过程中最主要的过程之一。设计的工艺性,对机械加工的生产率和经济性有很大的影响。

设计的机械加工工艺性,可以从以下几方面来进行研究。

1. 设计基准及设计尺寸系统

零件图上的尺寸系统与设计基准选择有关。在一个方向上, N 个表面间的位置尺寸数有 $N-1$ 个。在这 $N-1$ 个尺寸标注时,其方案数极多(其方案数等于完全图中树的数目,即 N^{N-2}),若尺寸标注不合理,往往会引起尺寸换算,从而压缩公差,增加制造困难。

零件图中,位置尺寸按功用可分为两类,即主要尺寸和非主要尺寸。

主要尺寸是零件上与其他零件相配合的尺寸或参加工作过程的尺寸。除此以外均为非主要尺寸。

主要尺寸的标注首先要考虑工作性能要求,在满足上述要求的前提下,尺寸系统应和加工相适应,避免多尺寸保证而造成尺寸换算。因为主要表面的位置尺寸精度要求高,公差较小,换算后会增加很大的加工困难。

对于次要尺寸,如某些自由尺寸,设计要求不高,应较多地考虑工艺性问题。一般应注意下列问题。

- (1) 尺寸标注与加工顺序相适应,不同阶段加工的尺寸不宜交叉联系,如图 6-2 所示。

图 6-2(a)为某一铸件,左图中很多铸造表面均对机械加工表面标注尺寸,实际加工时会产生多尺寸保证。正确的标注法如右图所示,在非加工表面组与机械加工表面组之间只应有一

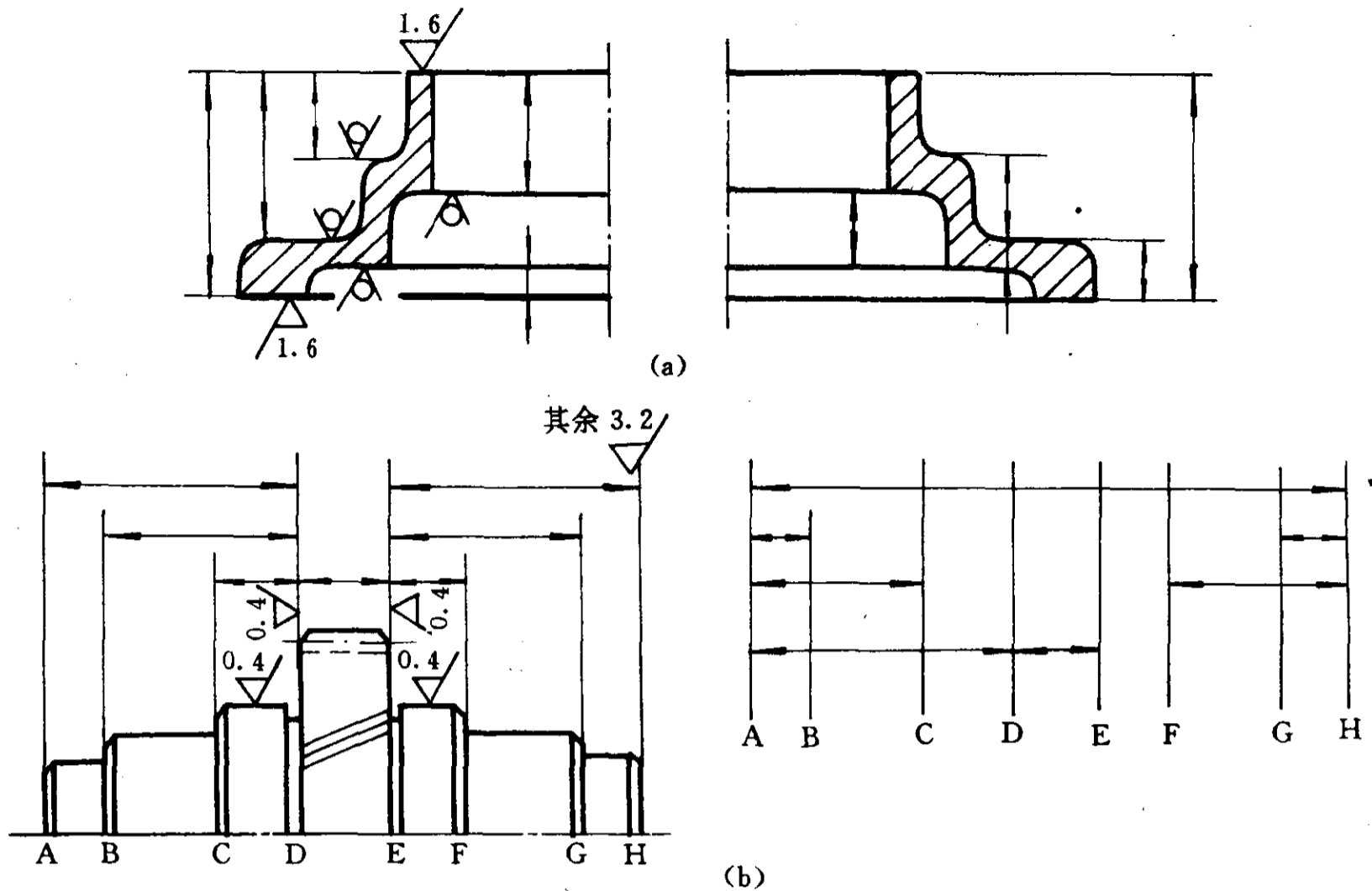


图 6-2 尺寸标注的工艺性

个尺寸联系。所选定联系的毛面,应便于作初次定位基准。

图 6-2(b)所示为一齿轮轴,中间齿轮两端面与其他轴向端面不是在同一阶段加工出来的(此两端在精加工阶段进行磨削,其他轴向表面在细加工阶段由车削保证),因此,不应该由齿轮端面标注很多轴向尺寸,应按右边图示进行标注。

(2) 应考虑便于定位和测量。如图 6-3 所示某一套筒零件,若标注尺寸 N 就比标注尺寸 M 好,因为用 N 定位时,夹具比较简单,定位和测量也比较方便。

(3) 应考虑能采用高生产率的加工方法。如图 6-4 所示为在多刀机床上加工某轴颈零件,采用复合工步加工,为便于调整并保证精度,可按 B_1, B_2, B_3, B_4 尺寸标注,而不标 A_1, A_2, A_3, A_4 尺寸。

2. 精度

机械加工精度的选取对设计工艺性的影响很大。

(1) 尺寸精度、形状和关系精度

根据产品性能要求来确定合理的公差值。允许的公差值与加工成本有密切的关系,一般公差值在小于 0.005mm 时,成本增加很快,如图 6-5 所示。

除合理地确定允许的公差数值以外,还必须注意精度的平衡。在一个零件上,或在一个组件、部件中,最终反映的精度都是由很多误差环节组成的,在确定这些环节的精度分配时,一定

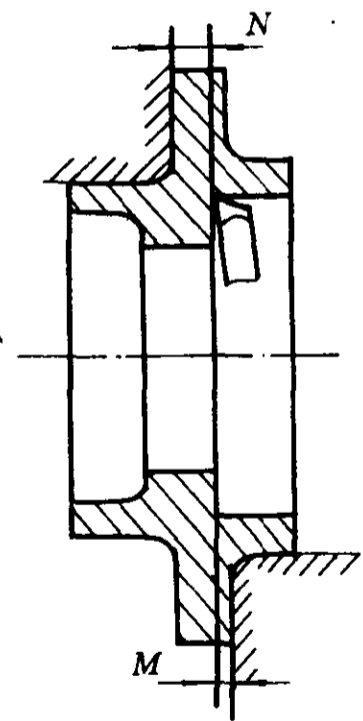


图 6-3 尺寸标注与定位

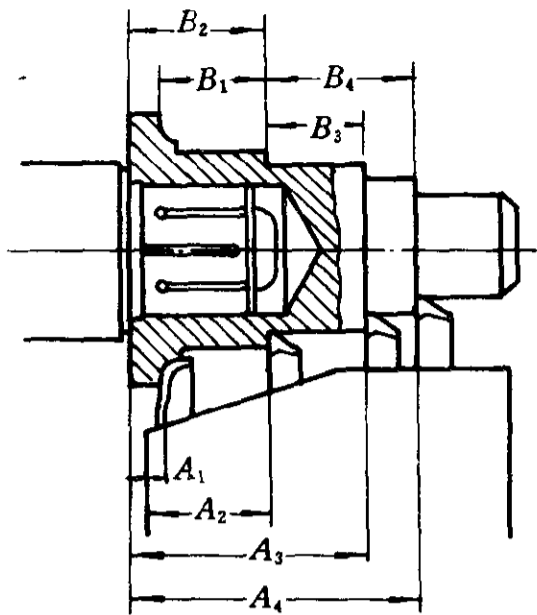


图 6-4 复合工步的尺寸标注

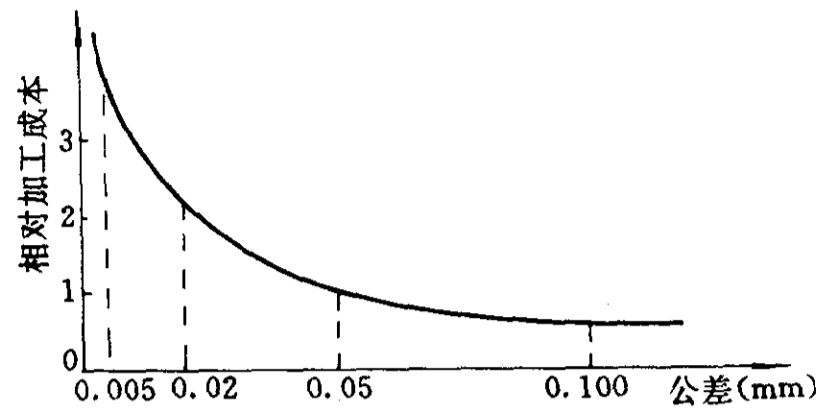


图 6-5 加工精度与制造成本的关系

要注意制造时的难易程度,以便得到最优的组合,即既能保证质量的要求,又能使总成本下降。

表面的形状精度和表面间位置关系精度,一般应按经济精度来确定其数值。

(2) 粗糙度

表面粗糙度 R_a 的数值规定过小时,制造成本也会很快增加。另外,表面粗糙度应与精度相适应。若粗糙度要求 R_a 的数值过小,则往往为了粗糙度的要求而采取附加工序。

各种不同的加工方法,其精度和粗糙度的关系见附录二。

3. 构形

从工艺性考虑,零件的构形应满足下列几方面的要求:

(1) 零件构形的规格化与统一化

无论是整个零件还是其中某些部分的形状均应尽量统一化与规格化。统一化将使工具数量减少,生产易于进行。规格化有利于采用标准工具等。

图 6-6 所示为一小轴,其上的倒角、转接圆角、空刀槽和键槽等均应统一。

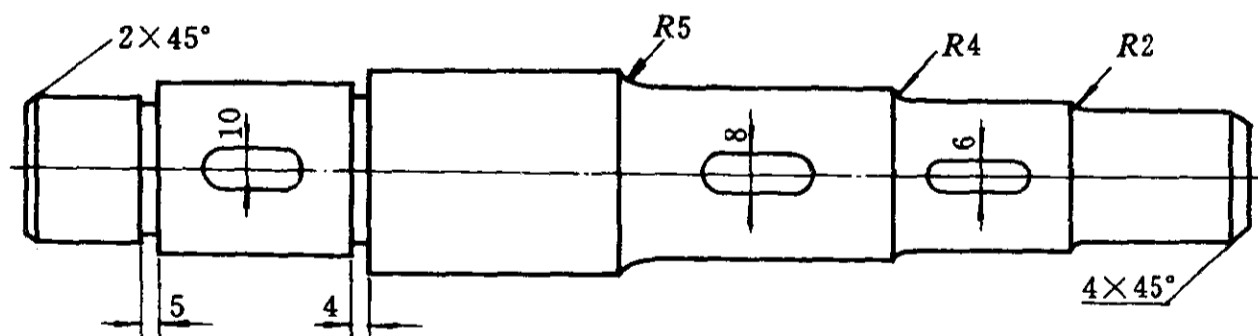


图 6-6 构形要素的统一化

(2) 零件构形要便于加工

① 切削工具能接近被加工表面。

如图 6-7 所示的工件,由于小孔轴线过于靠近邻近的外壁,致使用一般标准的钻头无法加工。宜使尺寸加大,如图 6-7(b)所示。

② 转移结构要素,简化加工。

如图 6-8 所示为一滑动轴承,油槽开在本体上时加工较为复杂,若油槽开在轴承的外圆

上,同样能满足工作性能的要求,但加工则比较方便。

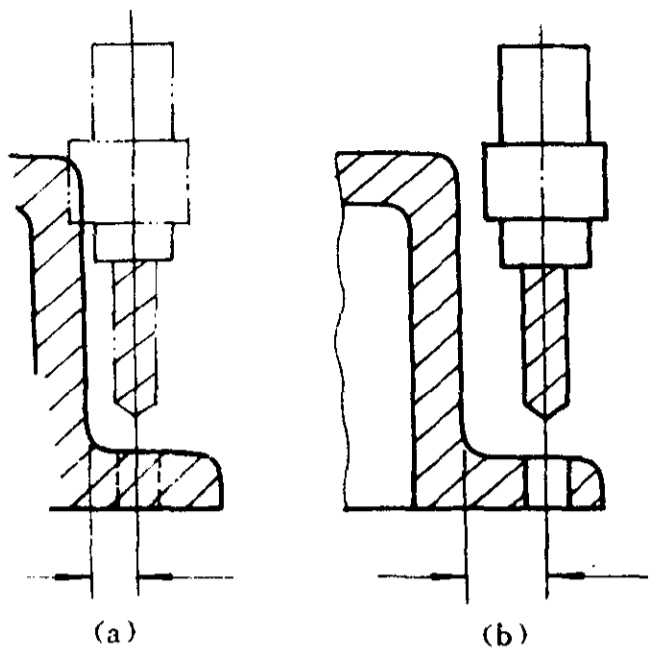


图 6-7 使刀具容易接近工件

③ 保证切削工具有退刀余地。

如图 6-9 所示,左边的设计均未考虑退刀,这样的要求迫使经济性下降,甚至使加工不可能。右边的设计则较为合理。

④ 保证有良好的切入和切出条件。

如图 6-10 所示,钻孔时,当钻入和钻出表面和工具轴线不垂直时,由于受力不均而有很大的引偏,甚至钻头折断。(b)、(c)、(e)、(g)、(i)为改进后的结构。

⑤ 形状与工具相适应。

如零件在构形上不允许有退刀之处,则其形状应与工具形状相适应。如图 6-11 所示,(a)的孔形与钻头相适应,(b)则与镗刀相适应,(c)与铰刀相适应。

(3) 零件构形便于提高生产率

① 减少安装次数。

减少安装次数,不但可保证较高的位置精度,而且可提高生产率。

如图 6-12 所示,轴颈上有两个半圆键槽,角相位差 90° ,因此,加工时需两次安装加工,如改成 (b) 所示,则可以在一次安装中加工出来。

又如,某一本体零件,左右两边的孔的精度要求很高,孔轴线的平行度、同轴度等的要求也高,图 6-13(a) 所示的形状,不便于在一次安装中加工,若一定要在一次安装中加工,则只能采用专用

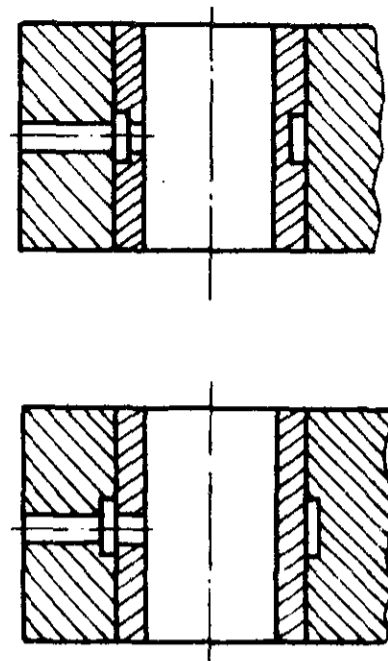


图 6-8 结构要素的转移

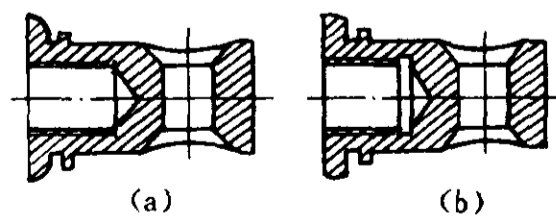
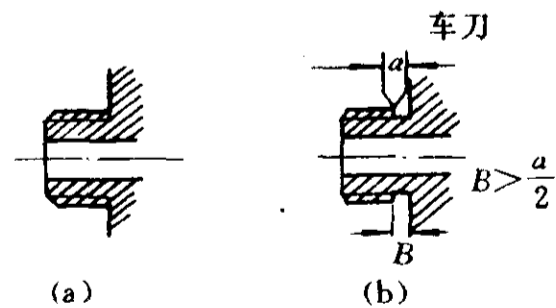
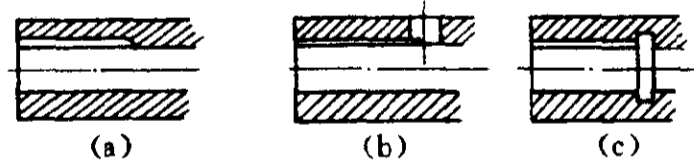
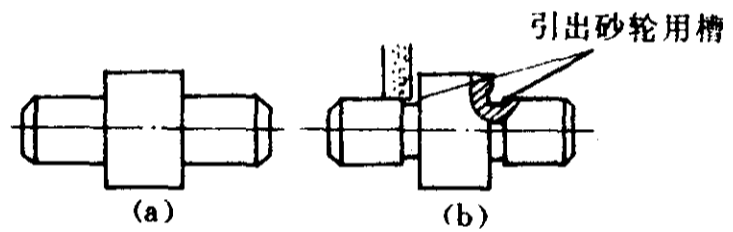
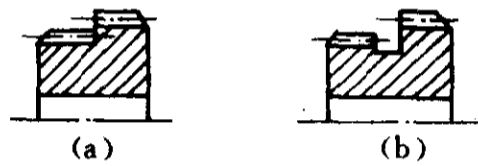


图 6-9 切削工具的退刀槽

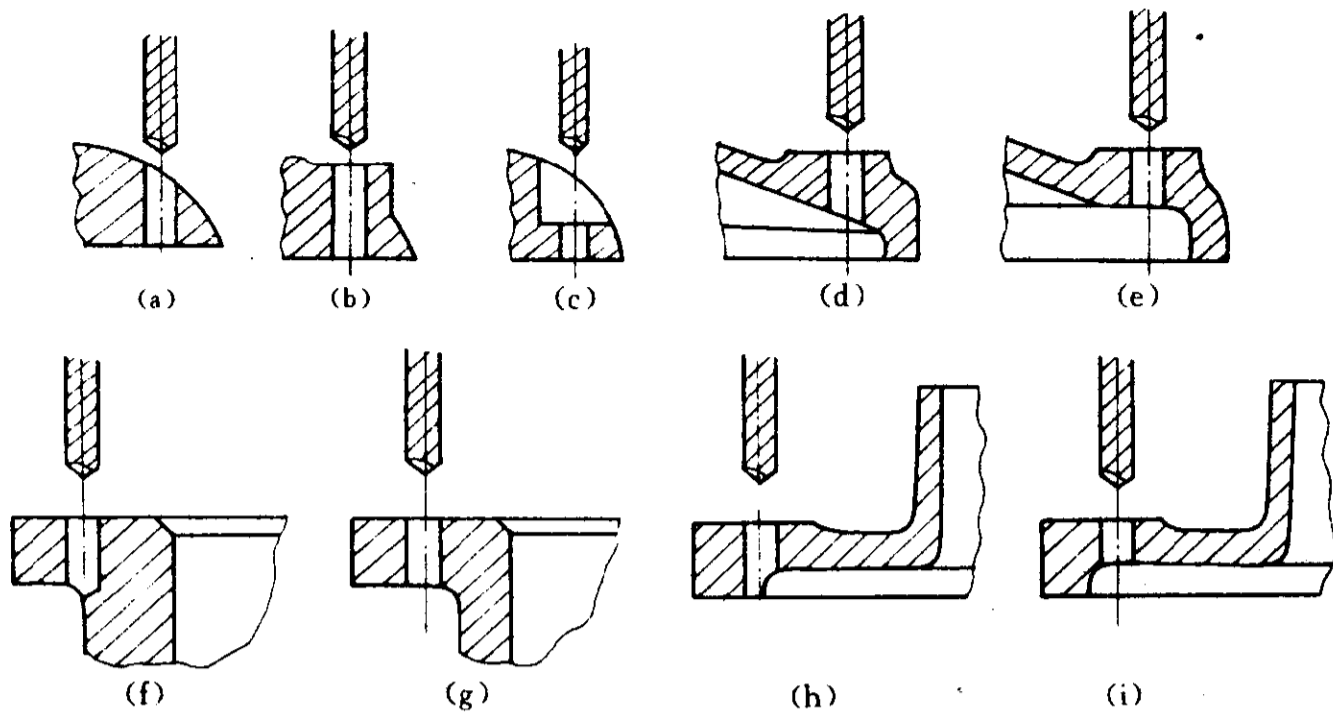


图 6-10 保证良好的切入切出条件

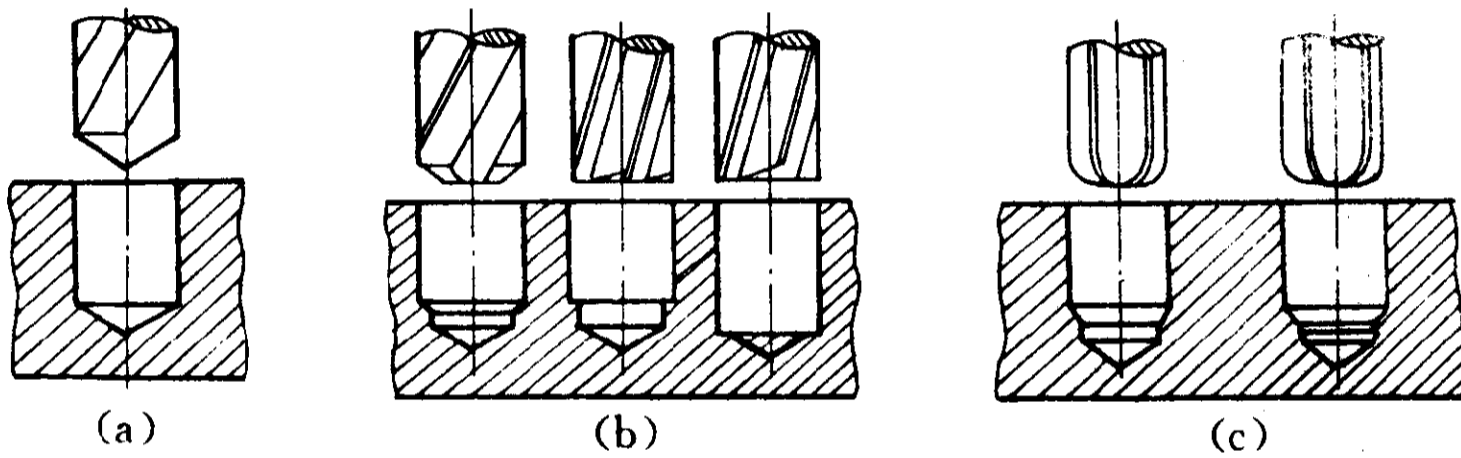


图 6-11 构形与工具形状

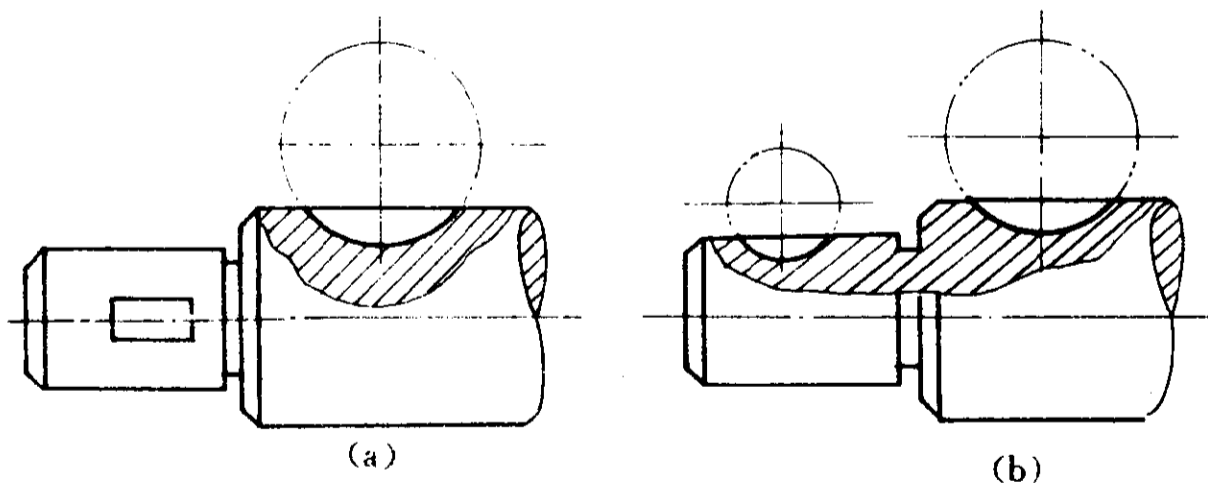


图 6-12 铣键槽时的安装次数

机床,而(b)所示,则可在一般机床上用一次安装的方法加工出来。

② 提高零件刚度。

增加刚度,可加大切削用量。如图 6-14 所示,在加工顶面时,(a)因刚性差而限制生产率的提高,(b)所示为改进的结构,可用大用量加工。

③ 便于多件加工。

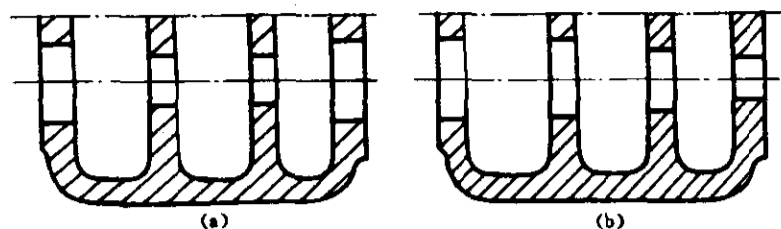


图 6-13 孔加工时的安装次数

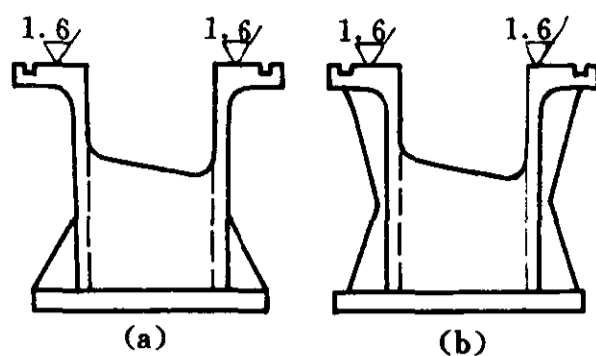


图 6-14 提高零件刚度

多件顺序加工,可大大节省时间,如图 6-15 所示,(a)的构形,不适宜于多件同时加工,(b),(c)则可大大提高生产率。

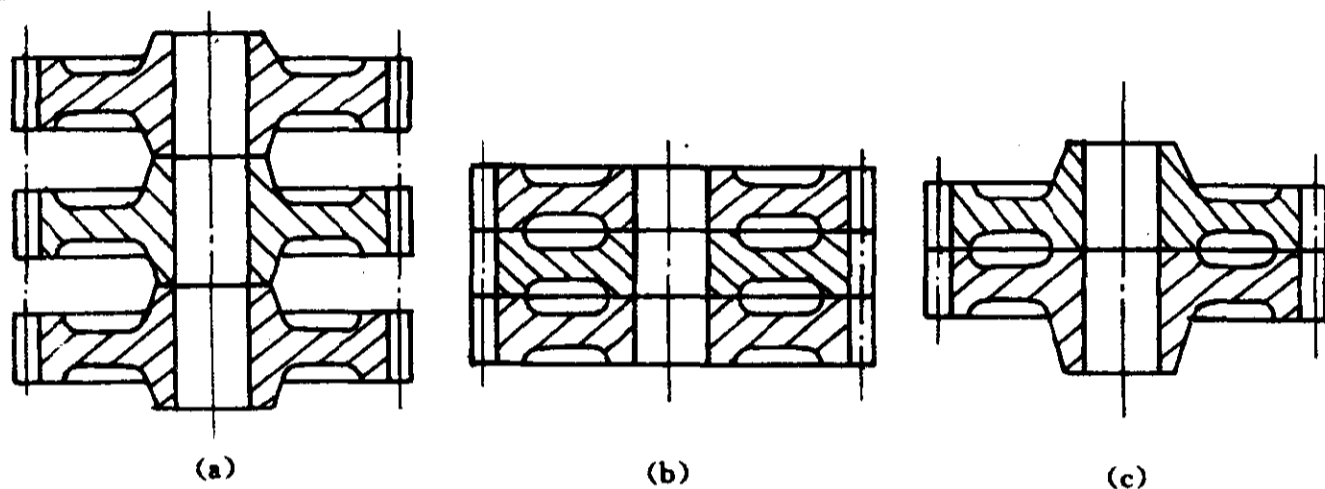


图 6-15 多件顺序加工

综上所述,设计工艺性对产品的质量、生率和经济性有较大的影响。另外,必须注意,设计工艺性与产量及生产条件有关。上述所列是从某一方面说明对零件的工艺性要求,在实际中须结合具体情况进行分析。

§ 6-2 提高加工质量的途径

在机械加工过程中,影响加工质量的因素很多,而且也十分复杂。为提高加工质量,必须进行综合分析。

合理地设计工艺过程,是保证和提高产品加工质量的必要条件。在设计工艺过程时所涉及的几个基本问题是:

- (1) 合理地选择加工方法、加工设备和工艺装备;
- (2) 合理地安排加工阶段和组织工序的内容与数目;
- (3) 合理选择工艺基准和确定各工序的加工顺序;
- (4) 合理地确定热处理工序的内容和安排其位置;
- (5) 合理地确定加工尺寸、偏差、余量和切削用量等等。

上述这些问题,都对加工质量有很大的影响,因此,在工艺过程设计时,需充分注意。

另外,为提高加工精度,常采取下列工艺措施。

一、减小或消除误差

直接减小或消除加工误差,是提高加工精度的有效途径之一。在这方面常用的工艺方法有:

(1) 合理地设计加工顺序,以减小或消除定基误差或定位误差的影响。

一次安装和互为基准法可消除定基误差的影响。另外,某一位置的技术要求若用一次安装法来保证时,则本工序的定位精度对加工精度没有影响。

(2) 提高工艺系统各环节的几何精度及调整精度,以保证加工过程中工件和切削工具的相对位置。

(3) 减小工艺系统各环节的变形。关于刚度变形,特别是低刚度工件的变形,如细长轴的加工,常用跟刀架与中心架来提高系统刚度。又如薄壁环形件等,一般常采用轴向夹紧等方法来减小夹紧变形。当热容量小、膨胀系数大的轻合金壳体类零件加工时,应从各方面采取措施来降低温度对加工精度的影响。如加工大尺寸工件时,为了消除温度的影响,有时将测具及样件的基体采用与工件相同的材料来制造等。减小内应力重新分布而产生的变形,比较有效的办法是划分阶段加工并采用合适的热处理。

二、误差的补偿与转移

在加工过程中,由于技术上或经济上的原因,不能采用直接减小或消除误差的方法时,常采用误差补偿或转移的办法来提高加工精度。

如切削工具的磨损,可采用自动刀补的系统来提高加工精度。又如薄壁盘幅板型面的加工,一般可采用双面车削以减小变形,提高加工精度。同理,加工细长轴时,采用双刀架、前后车刀同时加工,可抵消径向切削分力而减小变形。

又如压气机叶片由于刚度低,铣切时加工条件变化大,叶型在加工后有很大的变形,因此,在安装时,使叶片产生反向预变形,在应力状态下进行加工,加工后能满足工件的技术要求。

关于误差的转移,也是常用的工艺方法之一。如机匣上高精度的孔系加工,常采用一般精度的设备来进行,为转移机床的误差,可采用高精度的钻镗模夹具来保证工件孔系的高精度要求。

三、分组及组合加工

在加工过程中,有时由于上工序的误差较大,可能会影响本工序的加工精度(如误差复映、定位误差大等因素的影响)。若将误差分组,然后再进行分组调整与加工,这就可提高整批工件的加工精度。

另外,有时将相配的工件组合在一起进行加工,则工艺系统的很多误差都不会影响其有关的精度。

与上述方法类似,在机床上修整卡盘、顶尖以及夹具的定位面等,都能达到较高的加工质量。

以上所述提高加工精度的途径,由于产品对象的不同,生产条件的差异,解决问题的办法也是多种多样的,对具体问题,必须进行具体的分析和研究。

§ 6-3 提高劳动生产率的途径

劳动生产率是衡量生产效率的一个综合性指标,是在单位时间内完成产品的数量。生产中完成单件产品所需的时间愈少,则单位时间内的产量愈高,即生产率愈高。

一、时间定额

时间定额是在一定生产条件下制订出来完成某一工作(如某一零件、某一工序等)所需要的时间,是生产计划和经济核算的主要依据之一。时间定额必须正确制订,且应具有一定的平均先进水平,过高或过低的定额均不利于提高生产水平。

完成零件加工时一个工序的时间定额,称为单件时间定额,其内容包括以下四项:

1. 基本时间 T_j

它是直接改变工件的尺寸、形状和表面质量所需要的时间,亦称机动时间。

对于切削加工来说,是切去金属所耗费的时间,包括切削工具的切入和切出时间。这个时间可根据行程长度和切削用量来进行计算。

如车削时(图 6-16):

$$T_j = \frac{(L + L_a + L_b)Z}{n \cdot f \cdot a_p} = \frac{L + L_a + L_b}{n \cdot f} \cdot i$$

式中 L ——加工表面长度 (mm); f ——进给量 (mm/r);
 L_a ——刀具切入长度 (mm); a_p ——切削深度 (mm);
 L_b ——刀具切出长度 (mm); Z ——加工余量 (mm)。
 n ——工件转速 (r/min);

上式中: $i = Z/a_p$ (i : 走刀次数,取整数)。

各种加工方法的基本时间计算公式,可在切削加工手册中查到。

2. 辅助时间 T_f

辅助时间 T_f ,是指每个工序中为保证完成基本工艺工作需要的辅助动作所耗费的时间,其中包括:

- (1) 安装工件和卸下工件所需的时间;
- (2) 操作机床所需的时间,如开动和停止机床,变换转速与进给量等;
- (3) 工具转移位置所需的时间,如刀具的引进与退出;
- (4) 测量工件所需的时间。

上述基本时间和辅助时间之和称为工序作业时间。

3. 服务时间 T_w

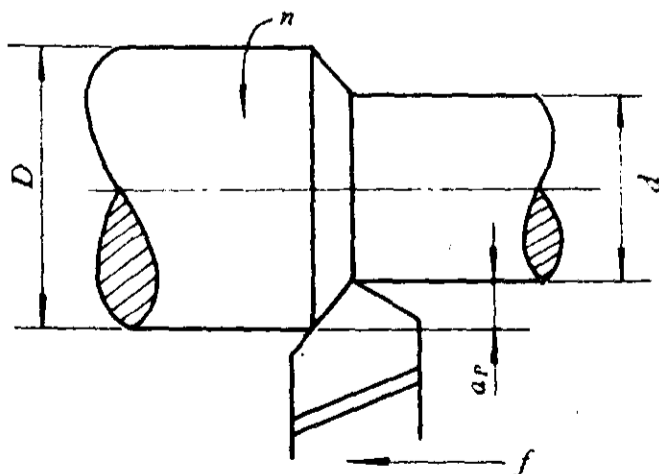


图 6-16 车削加工基本时间的计算

工作地点服务时间 T_w ,是指在工作班内照管工作地点及保持工作正常状态所耗费的时间。其中包括:

- (1) 调整和更换刀具、修整砂轮;
- (2) 润滑和擦拭机床、清理切屑;
- (3) 上班前准备和下班时收拾工作等。

工作地服务时间 T_w 一般按工序作业时间的 2%~7% 计算。

4. 休息时间 T_x

休息时间是用于生理需要休息和自然需要休息时间。一般按工序作业时间的 2% 计算。因此,工序的单件时间 T_d 可由下式进行计算:

$$T_d = T_j + T_f + T_w + T_x$$

在成批生产中,还需要考虑准备终结时间 T_z ,即在加工一批工件的开始时,需要熟悉工艺文件、领取毛料、安装刀具和夹具以及调整机床等,在加工一批工件的终了时,需要卸下工艺装备等。所以,当一批工件的数量为 n 时,每个工件要分摊到 T_z/n 的准备终结时间。所以单件时间 T_d 为:

$$T_d = T_j + T_f + T_w + T_x + T_z/n$$

在大量生产时,每个工作地完成固定的工序,所以可不考虑准备终结时间。

二、提高生产率的工艺措施

缩减时间定额就可提高生产率。

针对单件时间定额的组成因素,采取工艺措施,特别是缩短工时定额中比重较大的因素(如在大量、大批生产中、基本时间所占比重较大,而在单件与小批生产中,辅助时间和准备终结时间占的比重较大),是提高生产率的有力措施。

1. 缩短基本时间 T_j

由切削加工时基本时间的计算公式可知:

- (1) 提高切削用量 v, f, a_p , 可减少基本时间;
- (2) 减小加工余量和缩短刀具的工作行程 $(L + L_a + L_b)$, 也可缩短基本时间。

提高切削用量以减少基本时间,是机械加工中广泛采用来提高劳动生产率的有效措施。

提高切削速度,主要的问题是解决新型切削工具的材料。

目前,硬质合金刀具的切削速度已可达到 200m/min 左右,陶瓷车刀则可达到 500m/min 左右。近年来,国内外还采用聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼的切削刀具,在切削普通碳钢时,切削速度可达到 900~1000m/min 左右。在加工高硬度材料,如 HRC 60 以上的淬火钢,以及难加工材料如高温合金时,切削速度可达 90~100m/min 左右,并能在 900~1000℃ 时仍能保持其红脆性。

在磨削方面,磨削速度一般可达 60~90m/min,在试验室中,已可达到 200m/min 的超高速磨削。

加大进给量和切削深度,进行强力车削和强力磨削是提高劳动生产率的有效途径。

提高毛坯质量,减少加工余量,对提高劳动生产率有着非常重要的关系。因此,改进毛坯制造方法,使毛坯最大限度的接近成品,是缩短基本时间十分有效的办法之一。

目前,精密铸造和精密锻造可使加工余量大大减少。如压气机叶片的叶型,采用精锻、精压

和辗压等方法,能制造出无余量叶型,不但能保证精度,而且粗糙度也在 $R_a 1.6 \sim 0.4$ 之间。又如,轴类零件采用空心锻造,可大大减少深孔加工的劳动量。环形件采用弯曲焊接、扩径辗压的方法,也大大地减少了机械加工的时间。

关于缩短切削行程($L+L_a+L_b$),在工艺上一般采取下列措施:

同一表面的多刀加工,以减小切削长度;

采用多件顺序加工,以减少切入切出的长度;

采用组合机床、多轴多工位的自动机床等,使基本时间重合,从而可大大提高劳动生产率。

2. 缩短辅助时间 T_f

辅助时间有时在整个工时定额中占的比重较大,尤其是在中、小批生产时。在这种情况下,缩短辅助时间就有着重要的意义。

(1) 直接缩短辅助时间

在辅助时间中,大部分时间是用在工件的装、卸上。

采用高生产率的先进夹具,使用快速和多位夹紧装置,可大大节省工件的装卸时间。所以,在大量、大批生产时,经常采用气动、液压及电磁等快速夹具。在中、小批生产中,则常采用组合夹具或其他可调整和拼装的夹具,以及成组工艺中采用的成组夹具等。

(2) 使辅助时间和基本时间重合

在工件进行切削加工的过程中完成各种辅助动作,可使辅助时间大大下降。所以,采用双工位或多工位回转式夹具、回转工作台、多工位组合机床、专用机床和双工作台的加工中心机床等,多可使装卸工件的时间和基本时间重合。

另外,采用主动测量或数字显示自动测量装置,可使测量时间与基本时间重合。

3. 缩短服务时间 T_w

工作地服务时间主要应减少有关切削工具更换和调试的时间。为了缩短这个时间,常采取下列工艺措施:

(1) 采用各种快换刀夹和自动换刀装置、刀具微调装置、专用对刀样板、样件,以及数控机床、加工中心机床所用的机外专用对刀装置等,以缩短更换刀具时所耗费的时间。

(2) 采用耐用度较高的重磨硬质合金刀片。

这种刀片可根据需要作成三角形、四边形或其他多边形。使用时采用机械夹持的方法,在刀夹中定位夹紧。当一个切削刃磨钝后,可迅速将刀片转换一个切削刃,最后可换一个刀片。这样可减少换刀、对刀和重磨的时间。

4. 缩短准备终结时间 T_z

缩短准备终结时间的方法,一般有下列几种。

(1) 使刀具、夹具的零部件通用化和标准化。这样不仅可以在一定范围内适应各种不同工件的加工,而且可以在更换刀、夹具时,能迅速的换上预先调整好的标准备用刀架的夹具,以使准备终结时间减少。

(2) 采用成组加工,扩大相似零件的批量,以减少分摊到每个零件上的准备终结时间。由于工艺装备的适应范围相应加大,也就减少了工艺装备和设备的调整次数。

(3) 使用高效先进的加工设备和工艺装备,使之具有柔性,可以灵活地改变加工对象,从而可大大缩短准备终结时间。如采用仿形装置、程控装置、数控机床和加工中心机床等。

三、提高生产率的组织措施

最充分而有效地利用工作时间,与组织生产有很大的关系。为提高生产率,正确而合理地组织生产包括很多问题,一般主要的有下列几方面:

1. 有关工艺过程的组织措施

这方面的措施包括:合理地安排工艺过程的进程;组织工作地点,使工作地点专业化,地点布置要合理,并在工作地点配备必需的工夹具等以保证工作的正常进行;组织多机床管理和组织流水生产等。

2. 有关工作地点服务工作的措施

工作地点服务工作主要有:工作的分配;主要材料和辅助材料的分发;机床设备的调整、维护和修理;工作地点的运输等。

3. 有关生产管理的组织措施

组织材料的供应;改进仓库的管理以及改进运输工作与修理工作等。

而这方面的生产管理计划、制定合理的定额及实行经济核算等,对促进提高生产率有更为重大的影响。

4. 组织专业化生产和协作方面的组织措施

在这方面的措施有:组织毛坯的专业化生产;标准件、典型零部件生产的专业化;工艺装备和特种非标设备的生产和协作等工作。

合理地组织生产,不但可以减少辅助时间、服务时间和准备终结时间等,而且可使生产顺利进行并提高产品的质量。

§ 6-4 计算机技术的应用

近年来,随着科学技术的发展,在许多机械工业部门,计算机技术的应用也得到了很大的发展。

发展计算机辅助制造,不但可大大提高生产率和降低成本,而且还可提高产品的质量。此外还为多品种的中小批生产,提供了实现生产自动化的条件。

一、计算机辅助制造的机床控制

1. 计算机数字控制(Computer Numerical Control, CNC):

计算机数字控制是采用小型计算机代替一般数控机床的专用数字控制装置来控制。只要改变计算机存储器内的控制程序,即可加工不同的工件。因此 CNC 具有较大的通用性。

随着计算机工业的发展,微型计算机系统不仅具备小型的优点,而且在性能价格比及适应范围方面是现有数控方式中较好的一种。

微型机数控(Microcomputer Numerical Control, MNC)与 CNC 一样是用软件控制数控的各项功能的,功能的好坏主要取决于软件。因此,必须重视软件的开发工作。

MNC 的发展,为中、小批生产的机械加工自动化问题开辟了更为广阔的前景。

2. 直接数字控制(Direct Numerical Control, DNC):

直接数字控制是用一台通用电子计算机来管理和控制多台机床的控制系统。所以 DNC

是一个较为复杂的综合系统,其特点为:

- (1) 计算机以分时的方式同时控制一群机床;
- (2) 管理和控制相结合。控制加工且进行计划安排及生产状况记录等;
- (3) 零件程序的存贮。全部零件程序贮存在外存贮器中,需要时进行调用;
- (4) 可与自动编程系统结合。

直接数字控制,或称群控,不但用于数控加工设备的控制,也可用于设有传送装置的数控机床、自动仓库和工夹具管理站等自动化系统的控制。

3. 适应控制(Adaptive Control, AC)

在一般的数控加工中,切削参数是根据工件的形状、精度、材料以及机床和刀具等因素来确定的,并设计成程序在给定的条件下工作。

适应控制则是按给定的评价指标,自动改变加工系统的参数(加工用量),使工作接近于给定的指标。机床在加工过程中,用各种传感器检测加工过程中的信息(如温度、切削力、扭矩、位移、刀具磨损和振动等)并与给定的优化参数比较,通过指令进行自动修正,使加工效果接近给定的评价指标,达到最优控制。

AC系统,一般应具有下列功能:

(1) 检测

检测过程变量,以取得有关系统的加工状态、运动特性和条件变化的信息,并转换成一定格式的数据;

(2) 决策

将取得的过程变量的信息与期望系统的最优状态参数相比较,作出修改的决定,并获得修改的信息;

(3) 修正

把决策过程所确定的信息,经过执行装置去控制系统参变量的变化,以改变工作特性使其达到适应的目标。

二、计算机辅助制造系统

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)系统是用分级计算机来控制机械制造过程的。

现将计算机分级控制的情况简介如下。

(1) 一级计算机(下层)

这一级的任务是直接控制第一线的生产设备及有关的功能。它输出各台设备所需的信息,并对加工过程中的有关信息进行分析和判断,经运算后再输出控制信息。

一级计算机一般常采用小型计算机或微型计算机。

(2) 二级计算机(中层)

第二级计算机,一般称为主机。它的主要任务是对第一级各小型计算机执行监控和发布命令,如搜集或分配数据。这一级计算机还用于编制专用计算机程序,并实现上下两级计算机之间通讯,以及文件管理和数据转换等工作。

这一级计算机一般配置较为齐全的外围设备,并有容量的外贮存设备。这一级一般用中型机或几台小型机来完成任务。

(3) 三级计算机(上层)

这一级计算机一般称为中央管理计算机。它的主要任务是收集主机送来的信息并同时进行处理,它是从总的管理角度来控制二级计算机的。它还处理整个制造系统的事务,特别是计划、调度等管理工作。

这一级计算机一般采用大型或中型计算机。

整个计算机辅助制造系统,自上而下,或是自下而上都可以互相连络。对于生产、技术、组织和会计等方面的信息,在横向也可以互相连络。

计算机辅助制造系统中,如果用传送装置将机床(CNC、MNC、AC等)、自动仓库以及DNC计算机有机的连接起来,就成为柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。

FMS是由DNC功能、自动仓库功能和自动物流系统功能组成的一个系统,它本身具有自动维护和检查的功能。

DNC功能主要是管理一群机床;自动仓库功能用以管理毛坯、半成品、刀具和夹具等;自动物流系统的功能主要是对设备附近的机械手、工件的传送装置、切屑处理装置和冷却液等处理装置的管理。

柔性制造系统通过计算机控制的信息系统,在不需停机调整的情况下,由机床、自动仓库系统和自动物流系统,实现对同一类型的不同工件进行连续的自动化加工。所以,FMS是由计算机控制的、可自动更换加工对象的“柔性”自动生产线。

在零件复杂或多品种的中小批生产中,机械加工要实现加工自动化,就要求加工系统具有较高的柔性。FMS系统的研制与发展,不但提高了这些生产系统的自动化水平,而且为实现制造系统的综合化创造了条件。

三、计算机综合制造系统与无人化制造系统

在离散产品的制造业中,生产自动化的高级形式是计算机综合制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

CIMS是一个产品设计和制造的全盘自动化系统,它是计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)和计算机辅助制造在产品生产的全过程中一体化的有机结构。在CIMS中,实现了产品CAD与CAM的直接联系,即CAD的数据,可直接传输到CAM系统,进行工艺过程设计、工夹具设计及数控程序编制等工作。在CIMS中的CAM系统内包括了加工、装配和最终成品检验。加工系统则由若干DNC及其控制的CNC、AC机床两级计算机控制系统所构成。

无人化制造系统(Unmanned Manufacturing System, UMS)是指机械制造厂生产的全盘自动化。这里的自动化不仅包括机械加工,而且还包括毛坯制造、热处理和装配等在内CAM自动化系统。为了组织UMS的生产,实现生全盘自动化,不仅要使CAD与CAM联系起来,而且还要建立计算机控制的经营管理信息系统,并使这三方面的工作协调运行。对于这样复杂的综合性技术,必须有高水平的硬件和软件基础,才能在技术上是可靠的,在经济上是可行和合理的。

四、成组技术(Group Technology, GT)

随着经济的发展和科学技术的进步,产品的更新换代日益加快,产品的种类也愈来愈多。

因此,多品种、中小批量的生产也就越来越重要。

由于批量小,在传统的生产组织方式的条件下,一般常采用常规的工艺方法、通用的设备和工艺装备。因此,在生产时的劳动生产率不高,经济性不好。为解决这些问题,可采用成组技术的方法。

成组技术是指:将具有相似特征或信息的多种事物,按一定的准则分类成组,使若干事物采用同一种优化的方法来处理的一种技术。

从企业生产的全过程来说,成组技术是将企业的多种产品、部件和零件,按其性能、规格、形状、尺寸和制造过程等多方面的相似性进行分组,并以这些组为基础来组织生产的各个环节,从而实现各个生产环节,即产品设计、生产准备、加工制造和生产管理等工作的合理化与现代化。

从机械加工的过程来说,成组技术是通过一定的手段(零件分类系统),把不同产品的多种零件按形状、尺寸、材料和工艺要求的相似性进行分类成组。根据同一组零件的要求,配备相应的工艺设备和工艺装备,采用适当的布置形式,按零件组组织成组加工。以一组零件的总批量来代替一种零件的批量,从而扩大了批量,使中小批生产也能采用大批量生产中使用的先进工艺和制造技术。以达到提高效率、降低成本,并在保证质量的前提下获得良好经济效果的目的。

在实施成组加工时,技术准备的主要内容之一是将零件进行分类编码,按零件的基本特征,对分类对象用多位数字表达出来,从而可用计算机进行数据处理。

较为著名的是 OPITZ(奥匹兹)工件分类系统。

OPITZ 码使用下列数字顺序:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D

基本码由九位数字组成,还可以扩加四个数码。

前九个数字代表设计和制造两类数据。九个数字中,前五个数字 1,2,3,4,5 称为形状码,描述零件的主要设计特征。后四个数字 6,7,8,9 是辅助码,表示零件制造时需要的某些特征,如工件尺寸、材料、毛坯形状和加工精度等。附加的四个数字 A,B,C,D 为二级码。用于识别生产时加工工序的类型和顺序等。二级码由用户设定,以满足特殊的需要。

九个数字的含义如图 6-17 所示。

我国制定的 JLBM—1 机械零件分类编码系统有 15 个码位。

在 15 个码位中,第 1,2 码位为名称类别矩阵。第 3~9 个码位为形状与加工码位。第 10~15 码位为辅助码位,其中第 10 码位为材料,11 码位为毛坯原始形状,12 码位为热处理,13,14 两个码位为主要尺寸,第 15 码位为精度。

JLBM—1 的基本结构如图 6-18 所示。

在零件进行分类编码的基础上,可按编码顺序将零件排列成表,将编码相同或近似的零件组成零件组,然后确定每组零件中的典型综合零件,即综合了本组零件中全部形状结构和工艺特征的零件。可以是实际零件,也可以是假想零件,只要求包括组内所有零件的特征要素。

对综合零件设计工艺过程,即能用来加工该零件组中任何一个零件。

五、计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)

在机械制造过程中,生产准备的工作内容很多,涉及面广,周期长。特别是工艺过程的设计,由于影响的因素多,内容复杂,长期以来一直由人工来处理。所以工艺过程的设计周期长,

设计质量主要取决于技术人员的经验与水平。因此,利用计算机进行工艺过程的设计,不但可大大缩短生产准备周期、提高设计质量、降低生产成本,而且可为综合制造系统提供技术基础。

形 状 码					辅助码 码位
第一码位	第二码位	第三码位	第四码位	第五码位	
零件类别	主要形式	回转面加工	平面加工	辅助孔、齿成型加工	— 二 三 四

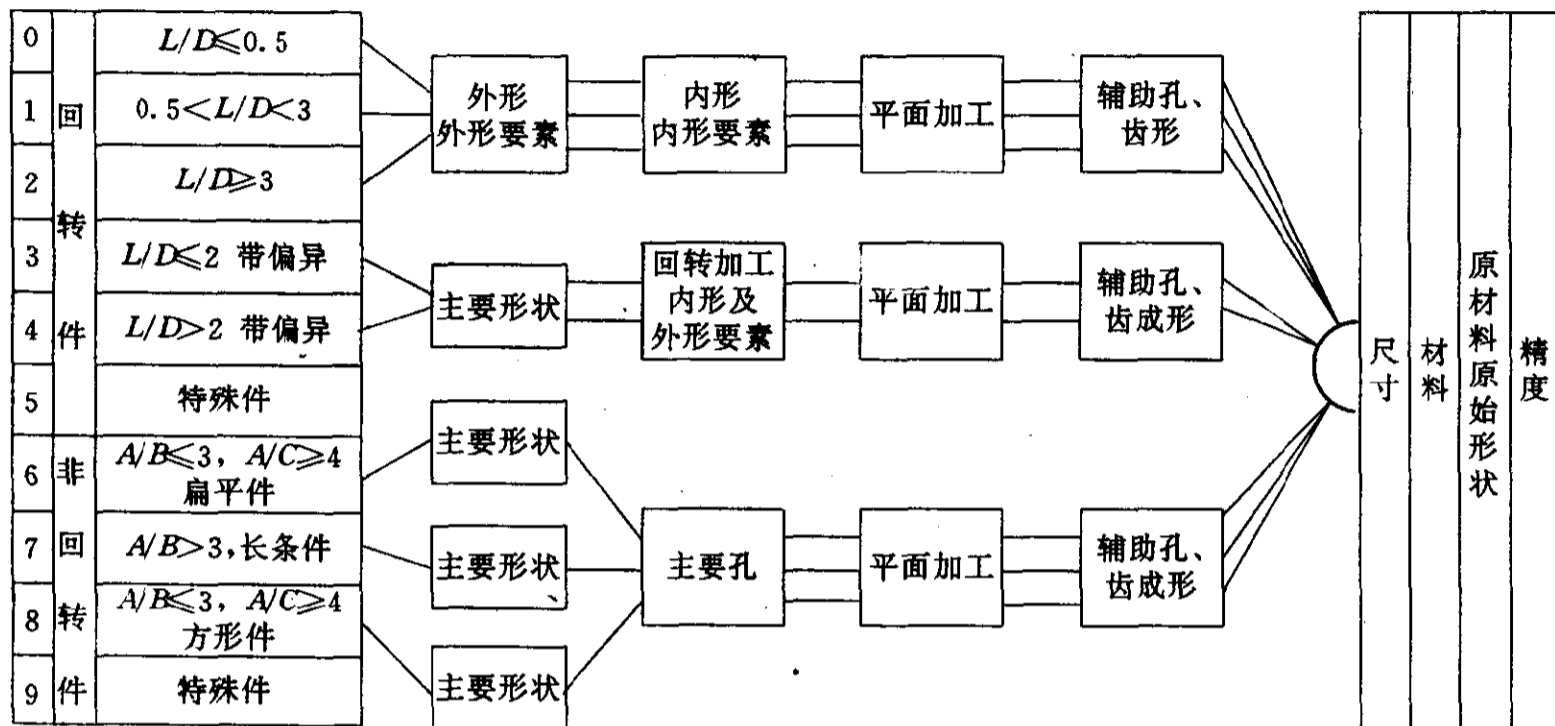


图 6-17 OPITZ 分类编码系统的基本结构

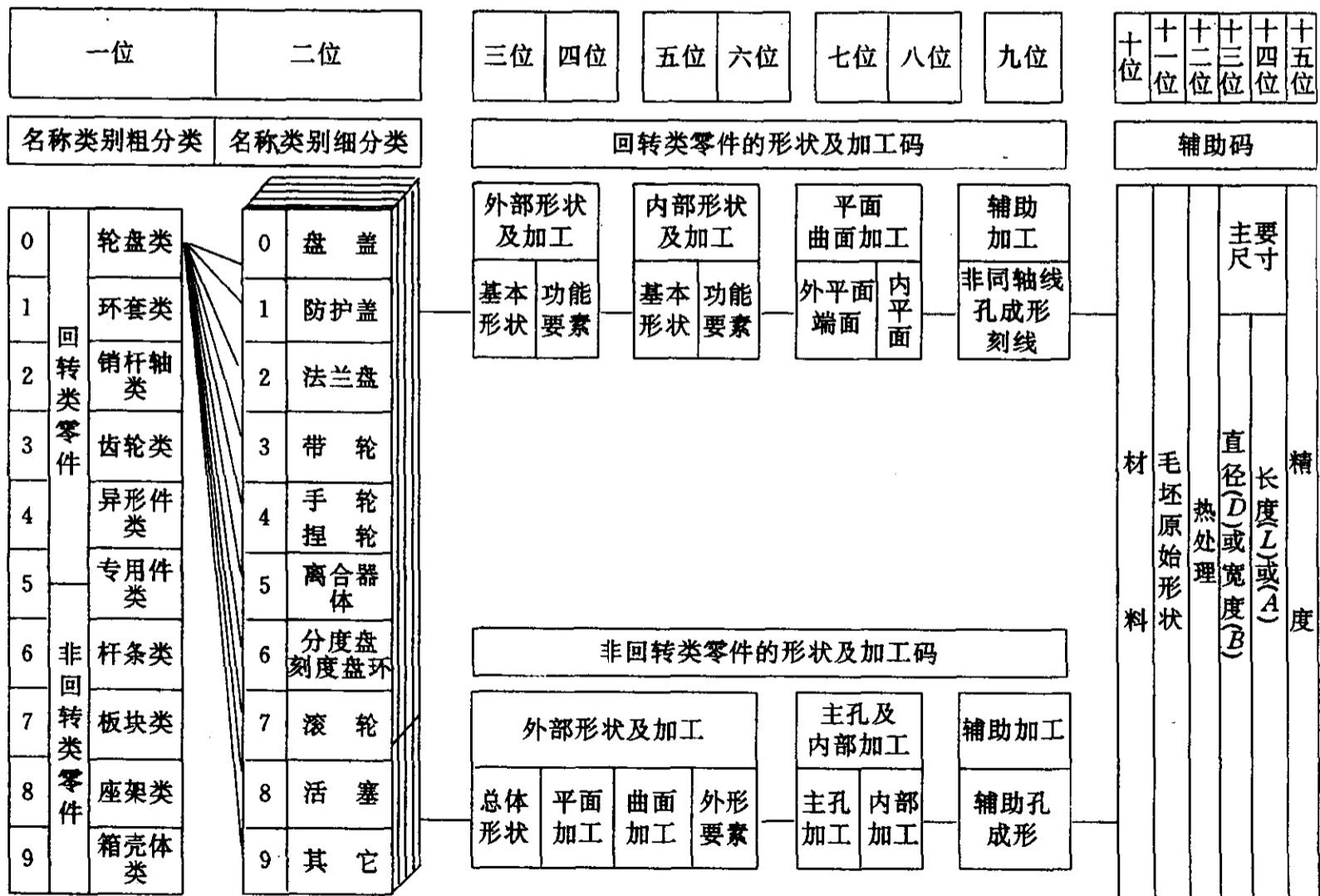


图 6-18 JLBM-1 分类编码系统的基本结构

计算机辅助工艺过程设计,是由一个专门设计的计算机软件系统(CAPP 系统)来实现的。目前,国内外研究的 CAPP 系统,其工作原理可分为下列两种:

1. 检索式系统(Variant Process Planning)

这类系统是建立在成组技术基础之上的。计算机根据零件的编码查找出零件所属的类别,并按照零件的类别检索出标准的工艺路线和工序内容。再根据零件的具体要求,对已检索出的标准工艺路线和工序内容,进行增删和编辑。

检索式 CAPP 系统的框图如图 6-19 所示。

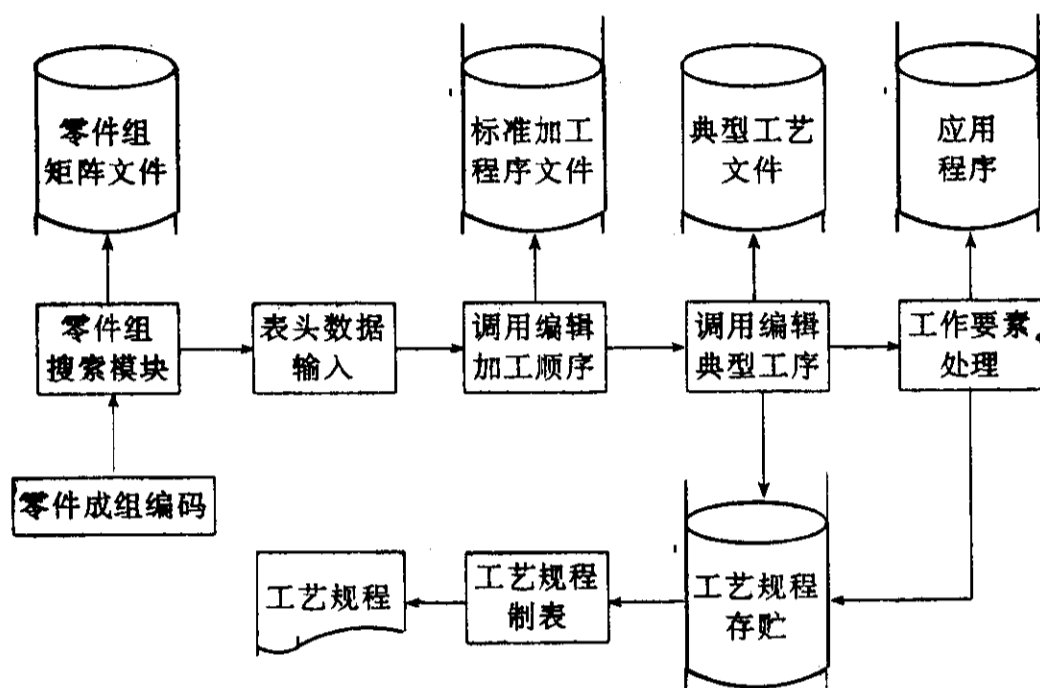


图 6-19 检索式 CAPP 系统

检索式计算机辅助工艺过程设计系统的优点是结构简单,易于实现。其缺点是对复杂零件不太适用。这主要是因为对这类复杂零件较难用成组编码来描述,同时也很难设计一个典型工艺过程作为标准的过程而存入系统。

2. 生成式系统(Generative Process Planning)

生成式系统事先不准备好标准的或综合的工艺过程,而是通过向计算机输入零件图的有关信息以及产量和现场生产条件后,由计算机按照各种工艺决策的算法和逻辑步骤,自动地生成零件的工艺过程,并实现工艺过程的优化。

由于零件的多样性及影响工艺过程因素的复杂性,所以必须采用人工智能技术、建立制造过程的专家系统来设计 CAPP 的软件。

生成式 CAPP 系统的框图可如图 6-20 所示。

检索式 CAPP 系统结构简单,但对零件要求有一定限制;生成式 CAPP 系统适应性强,有发展前途,但系统结构复杂,运行时间长。因此,某些系统也采用混合式结构以适应中等复杂程度的零件。

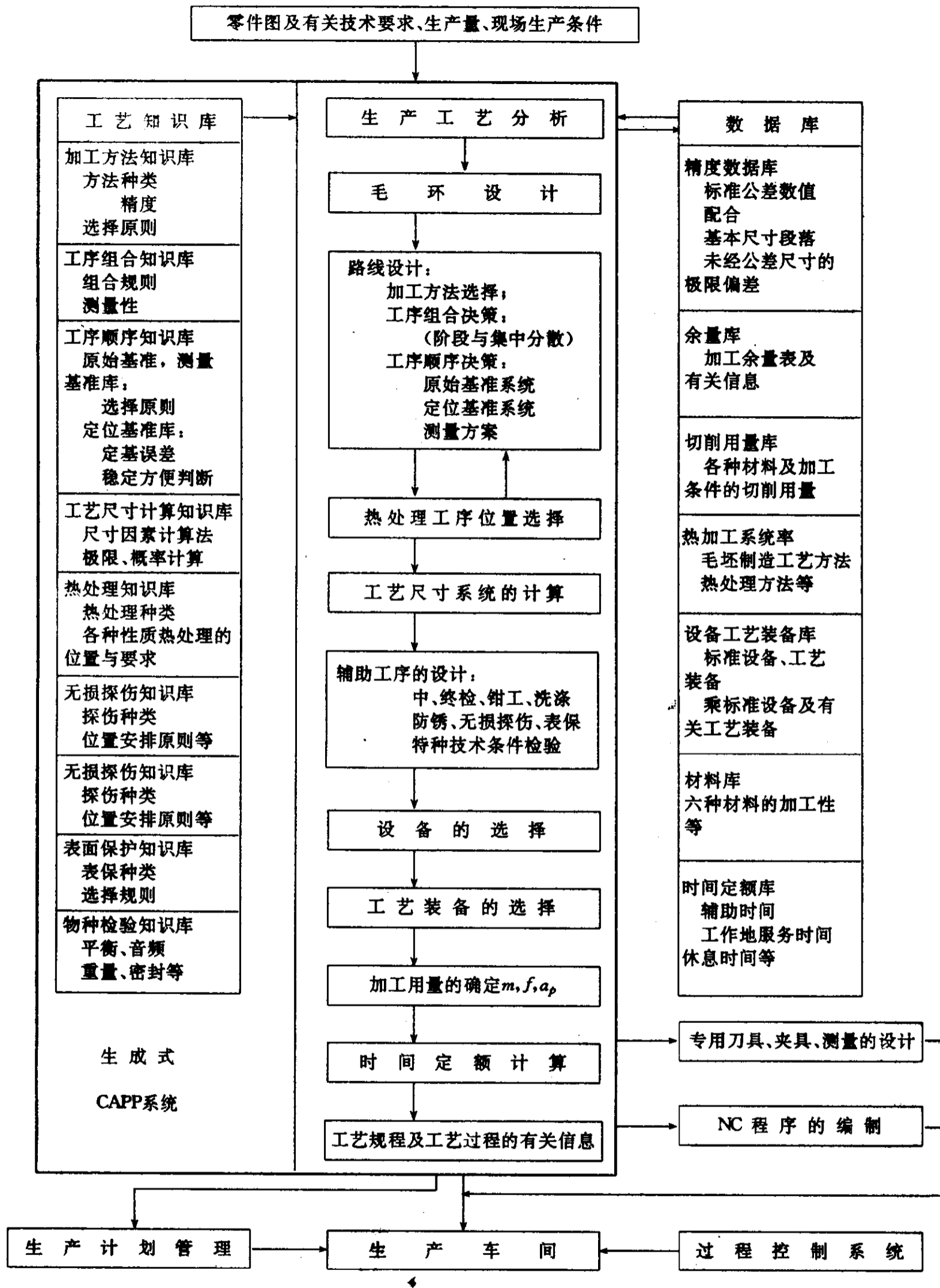


图 6-20 生成式 CAPP 系统

§ 6-5 技术经济分析

在制造工程中,为保证产品的质量和生产率的要求,一般可以有几个不同的工艺方案,这些方案,将会有不同的经济效果。因此,为了选取在给定的生产条件下最经济的方案,就必须对各种工艺方案进行技术经济分析。

进行经济分析,就需要比较不同方案的生产成本,从中选择最经济的方案。

生产成本是制造一台机器或一个零件所花费的一切费用的总和。这种制造费用可以分为与工艺过程有关的费用和与工艺过程无关的费用两类。因此,在进行工艺过程的技术经济分析时,只需要对前一种费用(即工艺成本)进行分析与比较。

工艺成本由两部组成:可变费用和不变费用。

(1) 可变费用

可变费用 V 是与年产量 N 的大小成比例变化的费用。包括:材料费、毛坯制造费、操作工人的工资、机床电费、通用机床的折旧费与修理费、通用夹具费和刀具费;

(2) 不变费用

不变费用 B 是与年产量 N 的大小无直接关系的费用,当年产量在一定范围内变化时,其费用基本保持不变。它包括:调整工人的工资、专用机床折旧费和修理费、专用夹具费、管理人员的工资。

若零件的年产量越大,则分摊到每个零件的不变费用 B/N 就越少。

零件全年的工艺成本可用下式计算:

$$C = V \cdot N + B \quad (6-1)$$

式中 C ——一种零件(或工序)的全年工艺成本,元/年;

V ——每个零件的可变费用,元/件;

B ——全年的不变费用,元;

N ——年产量,件。

同样,单件的工艺成本为:

$$C_i = V + B/N \quad (6-2)$$

式中 C_i ——单件(或工序)工艺成本,元/件。

从上式可以看出,年产量 N 越大,单件工艺成本 C_i 就越低。

由(6-1)式知,全年工艺成本和零件的年产量成线性关系,它说明全年工艺成本的变化与年产量成正比,如图 6-21 所示。

由(6-2)式知,单件工艺成本和零件的年产量成双曲线关系,如图 6-22 所示。

当年产量 N 很小时,由于设备的负荷低,不变费用占工艺成本的比重大,因此,单件工艺成本很高。如图 6-22 曲线中 A 段所示。当 N 值很大时,若 N 略有变化, B/N 值的变化不大,因此,对单件工艺成本 C_i 的影响不大。即单件工艺成本只取决于可变费用 V 。

在现有设备条件下或两种工艺方案的投资相近时,可以用工艺成本来评价工艺方案的经济性。

由于两种方案的异同情况的不同,一般可按下述两种方法来处理。

1. 当两个工艺方案只有少数几个工序不同时,只需要将这些不同工序的工序成本进行比

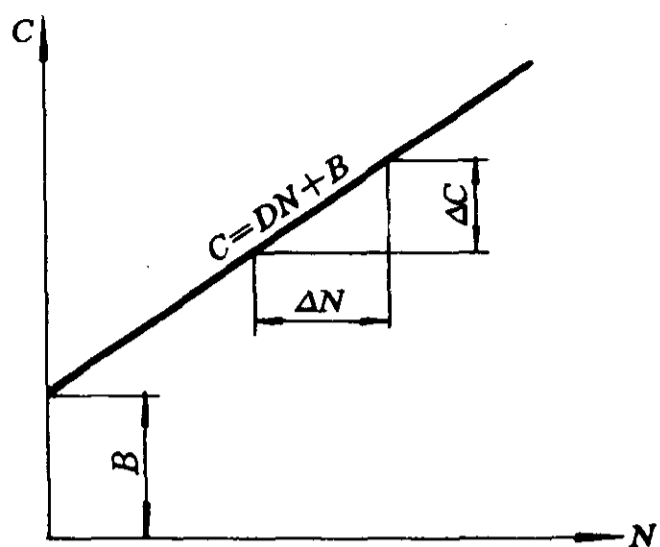


图 6-21 年工艺成本与年产量的关系

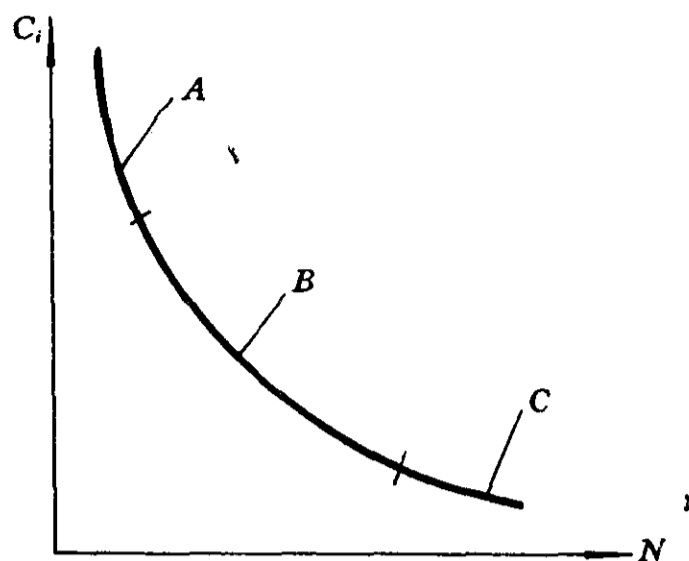


图 6-22 单件工艺成本与年产量的关系

较,因而有:

$$\begin{aligned} C_{i1} &= V_1 + B_1/N \\ C_{i2} &= V_2 + B_2/N \\ \Delta C_i &= C_{i1} - C_{i2} \\ &= (V_1 - V_2) + (B_1 - B_2)/N \end{aligned}$$

式中 C_{i1}, C_{i2} ——分别为工艺方案 I, II 中的相应工序的工序成本;

V_1, V_2 ——分别为工艺方案 I, II 中对应工序的可变费用;

B_1, B_2 ——分别为工艺方案 I, II 中的不变费用。

若产量 N 不变时,当 $\Delta C_i > 0$,则说明方案 I 的经济效果好。

若年产量 N 有变化时,可根据 C_{i1}, C_{i2} 作两条曲线,如图 6-23 所示。

当年产量 $N > N_K$ 时,方案 I 的经济性好,当 $N < N_K$ 时,方案 II 的经济性较好, N_K 称为临界年产量。

2. 如果两个工艺方案中工序差别很大,无法用工序的工艺成本来比较时,必须比较整个工艺过程优劣,则应该用全年工艺成本来比较。即:

$$\begin{aligned} C_1 &= V_1 N + B_1 \\ C_2 &= V_2 N + B_2 \\ \Delta C &= C_1 - C_2 \\ &= (V_1 - V_2)N + (B_1 - B_2) \end{aligned}$$

式中 C_1, C_2 ——分别为方案 I, II 的年工艺成本;

V_1, V_2 ——分别为方案 I, II 的单件可变费用;

B_1, B_2 ——分别为方案 I, II 的不变费用。

若年产量 N 不变时,当 $\Delta C > 0$,说明工艺方案 I 的经济性好,反之,则经济性差。

当年产量 N 有变化时,可根据 C_1, C_2 作两条直线,两条直线交于 K 点,对应于 K 点的年产量 N_K 即为临界年产量,如图 6-24 所示。

当年产量 $N > N_K$ 时,方案 II 的经济性较好, $N < N_K$ 时,则方案 I 的经济性较好。而当 $N = N_K$ 时,则经济性相同。

上述比较的前提是各种不同的工艺方案的基本投资是相等或相近的。当不同工艺方案的

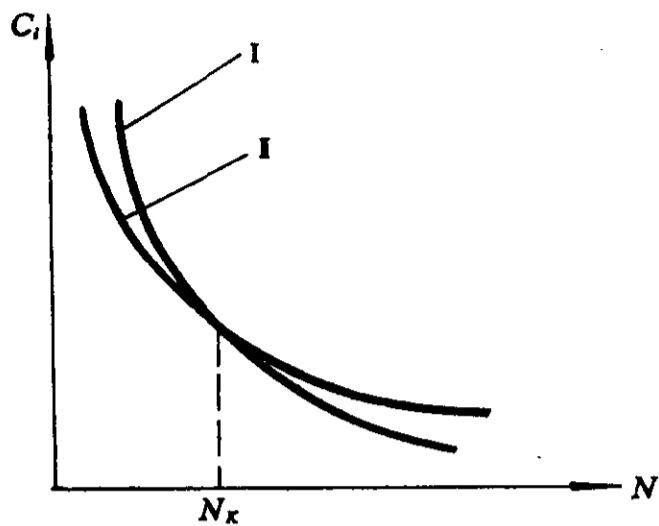


图 6-23 不同工艺方案的单件工艺成本与年产量的关系

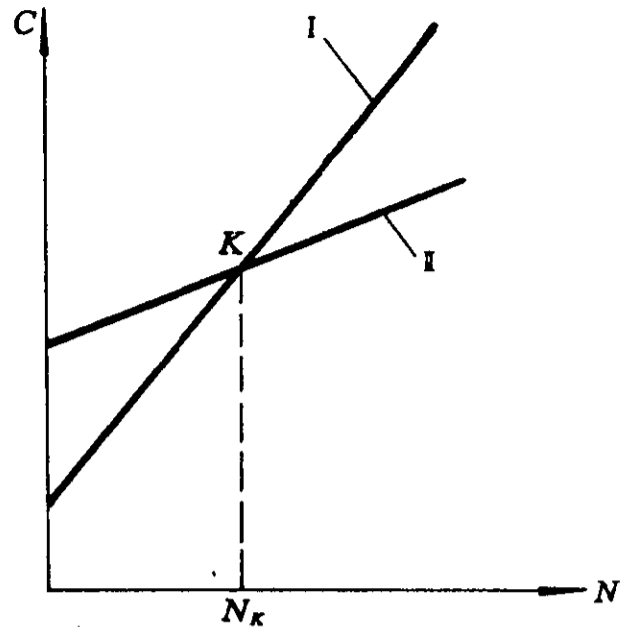


图 6-24 不同工艺方案的年工艺成本和年产量的关系

投资相差较大时,单纯比较工艺成本就不合理,因为基本投资较大者往往由于其生产效率高而使工艺成本较低。这时应该考虑基本投资回收的年限,比较两种工艺方案所付出的投资代价。

当工艺方案按成本分析比较相差不大时,一般可按一些相对技术经济指标来进行工艺方案的补充论证。常用的技术经济指标有:每一工人的年产量;每台设备的年产量;每平方米生产面积的年产量;材料利用率、设备负荷率、专用与通用设备构成比;原材料消耗与电力消耗等。

另外,必须指出,在进行经济分析时,要全面考虑生产率的提高。对国防工业来说,战时的劳动生产率更具有特别重要的意义。在考虑经济问题的时候要同时考虑劳动条件的改善和技术安全问题。

通常,对于产量较大的主要零件或重大的工艺方案比较,才进行工艺成本的计算,而对于一般零件和一般工艺方案,则常用其他的一些技术经济指标——如材料利用率与设备负荷率等来进行估算。

§ 6-6 质量管理

加工质量不单纯是一个技术问题。生产实践证明,影响及保证加工质量的重要因素之一是管理因素,特别是质量管理。因此,实行全面质量管理是保证加工质量的一项重要措施。

质量的概念,从广义上讲是产品的使用价值,包括性能、可靠性、寿命以及价格等。质量管理应包括全面质量的管理,全部过程的管理,并由全体人员来进行管理。

质量管理的具体内容是:

(1) 设计过程

包括产品生产的方针、产品试验、研制与设计、工艺设计、定型、技术文件等全部技术准备过程的工作质量;

(2) 制造过程

包括生产和检验两个方面,掌握工艺能力 C_p 值和控制图;

(3) 辅助生产过程

包括物资供应、工具供应、设备维修和计量等方面的工作质量；

(4) 使用过程

包括技术服务、质量评议、情报调查与信息反馈等。

全面质量管理的方法，主要是建立在数理统计理论基础之上的。在生产现场将大量数据进行搜集统计，整理成图表，用图表及数据实现管理，要求能预测与主动控制质量。

在机械加工中，常用的质量控制图表有：主次因素排列图；因果分析图；质量分布图（直方图）；调查表；分层法图表； \bar{X} - R 管理图（控制图）；误差散布图（相关图）等七种图表。利用这些图表，可以把工艺过程的定性分析和定量分析结合起来。这也是在生产过程中技术和管理的结合。

全面质量管理的实施，除技术措施外，还必须有 TQC (Total Quality Control) 管理体系，以便具体执行上述工作。

自 60~70 年代以来，国内外推广和运用了全面质量管理的方法。并建立了 TQC 管理体系。自 80 年代以来，由于科学技术的发展，在全面质量管理上也有新的发展，如：进行多元评价，进行技术、经济、市场预测，以及重视情报工作等。在方法上，采用运筹学、系统工程及价值工程等新的科学技术所制订的方法，即过程决策程序图与系统图（树型图）等，这是今后发展的方向。

第七章 轴类零件加工

§ 7-1 构造、技术条件与材料

发动机上重要的轴都是在载荷大和转速高的条件下工作的。比如发动机的涡轮轴和压气机轴都是高速旋转件,转速达 10000~20000r/min,它们除了传递巨大的扭矩外,还要承受转子自身的重力、不平衡力以及陀螺力矩等,并且是在高转速、变负荷条件下工作的。

一、构造

轴要求重量轻,所以轴的形状复杂,要将它作成空心的和薄壁的。发动机上的直轴,按照结构可分为三类:空心长轴(图 7-1)、轴颈类轴(图 7-2)、鼓筒类轴(图 7-3)。

空心长轴的结构特点:

轴的外表面是由光滑的轴颈、花键、螺纹、齿轮及凸缘型面等表面组成。某些轴的凸缘上常有各种形状的内花键或端面花键,另外还有螺栓孔。轴因按等强度设计,其内表面形状也较为复杂,一般是锥体、圆弧回转型面以及台阶孔,轴上还有径向孔,这些孔通常是用来将润滑油从轴的内腔通向外面的配合表面。有的轴(如双转子发动机的外轴)内孔中安装轴间轴承,因此在深孔中还有配合表面。

轴颈类轴的结构特点:

是薄壁短轴,大端腹板型面复杂,尺寸精度要求高,有多层封严篦齿,在锥面上有多圈斜孔和轴向孔,杆部有花键和螺纹。内表面形状复杂,有配合槽、定位孔,有的零件还有轴向深孔而且要和内表面的径向盲孔相通。

鼓筒类轴的结构特点:

短粗的筒形结构,壁较薄,内壁中间常有一周加强筋,两端安装边上铣花边,并各有一周螺栓孔。

二、技术条件

由于轴的工作条件较复杂,所以它的技术要求较高。

尺寸精度:主要表面的精度为 IT6,次要配合表面的精度为 IT7~IT8,其余表面的精度一般为 IT9~IT10。

形状精度:主要表面的圆柱度和平面度在 0.005~0.025 之间。

位置关系精度:主要表面的平行度不大于 0.05;跳动为 0.01~0.02;位置度在 $\phi 0.1 \sim \phi 0.3$ 之间。

表面粗糙度:主要表面为 $R_a 0.4$,一般表面为 $R_a 3.2 \sim R_a 0.8$ 。

内外表面壁厚差为 0.05~0.1mm。

热处理要求:所有轴一般都要进行调质处理,轴的工作表面还常常要进行渗碳,渗碳深度

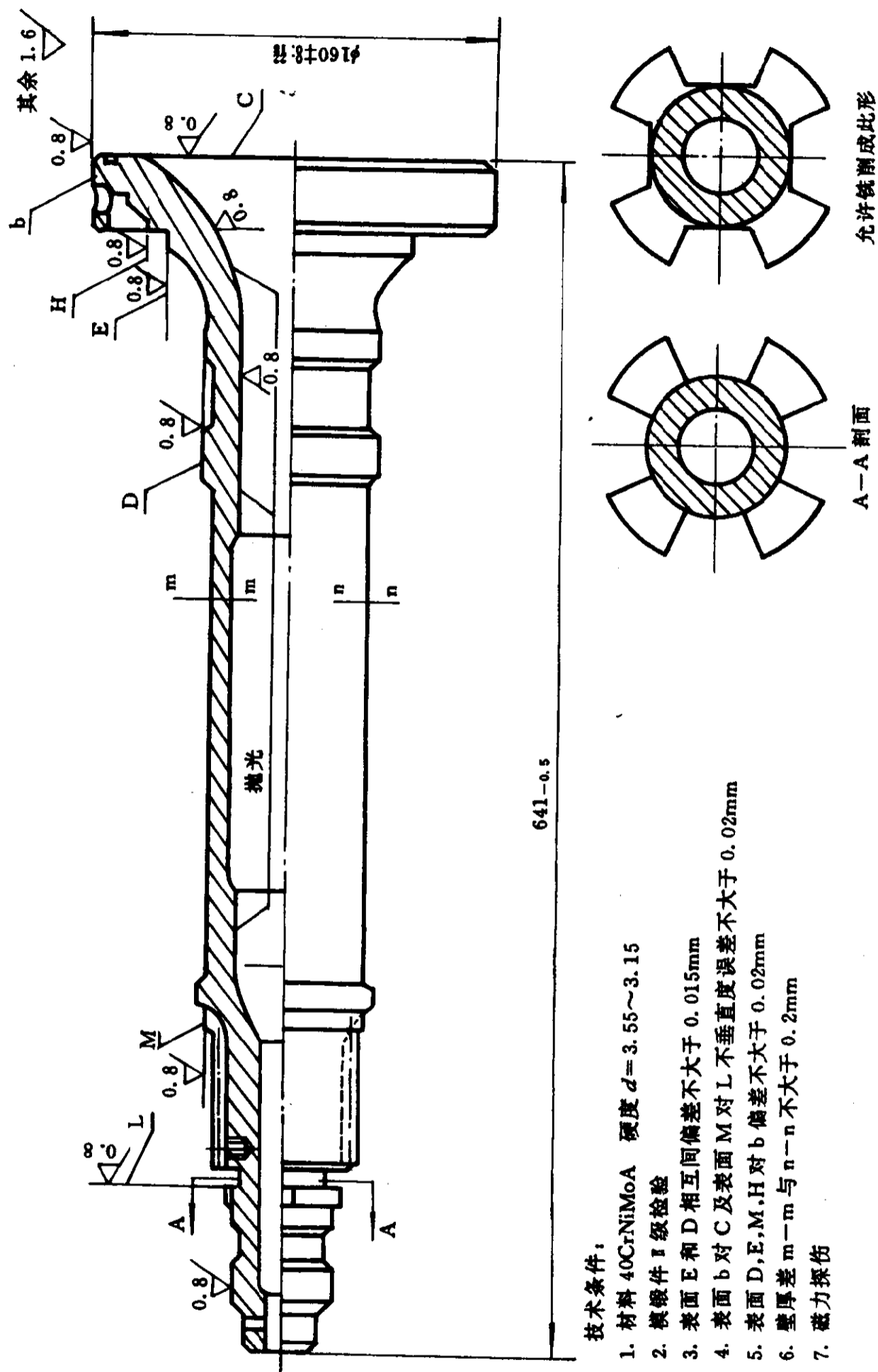


图 7-1 涡轮轴

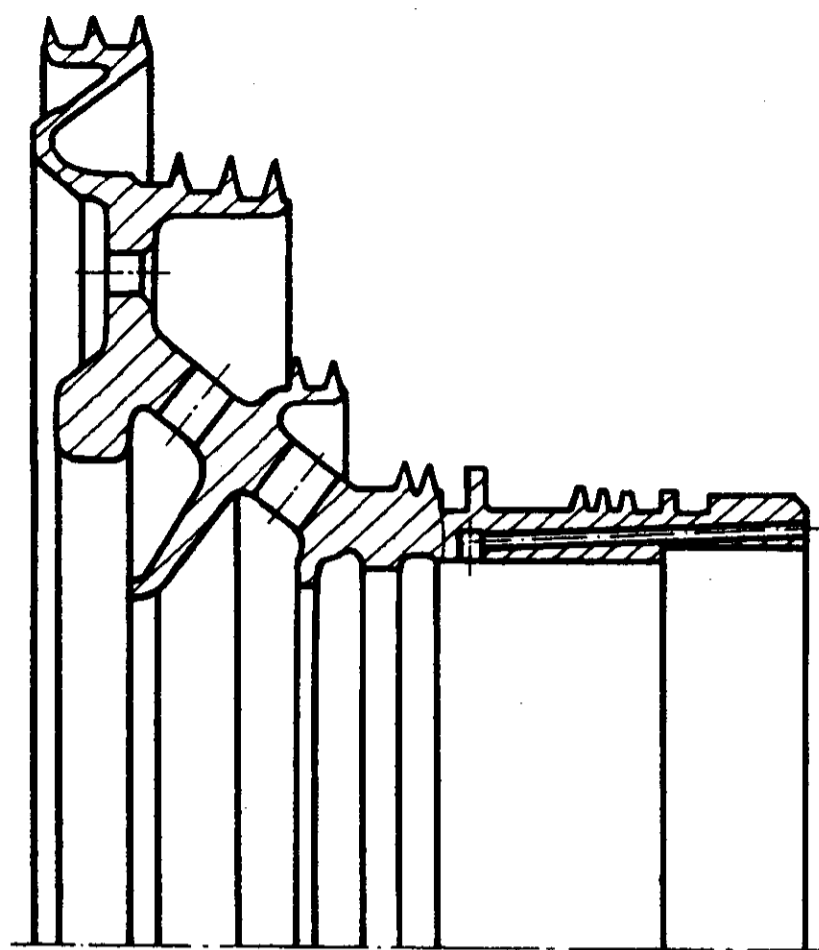


图 7-2 高压涡轮后轴

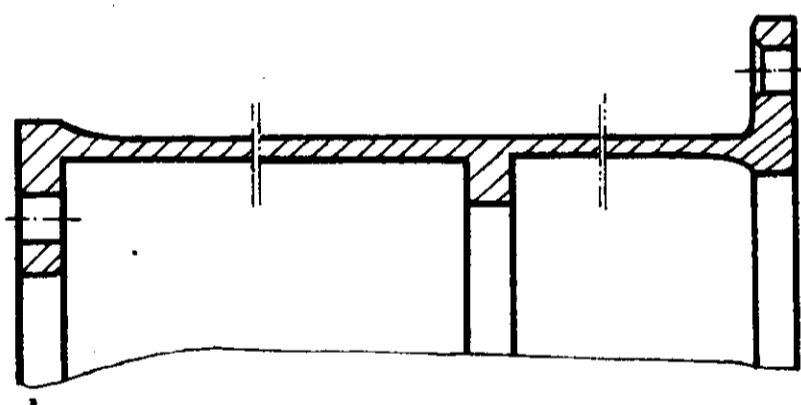


图 7-3 鼓筒轴

一般为 0.7~1.2mm。

表面处理:发蓝、吹砂和喷丸、篦齿喷涂、内孔局部镀铬。

特种检验:轴的材料及表面均有较高的要求,需要进行无损探伤,这些无损探伤包括:超声波检验、X光检验、荧光检验和磁力探伤等。

另外,涡轮轴和压气机轴一般需要用腐蚀方法检查材质的晶粒度。鼓筒轴的前后两端面要检查低倍晶粒度。涡轮轴的不平衡量一般为 $8\text{g} \cdot \text{cm}$ 。

三、材 料

发动机轴所用的材料都为优质合金钢。但随着发动机性能的不断改进,对轴所用材料的性能要求也随之提高,因此轴采用的材料也在不断地变化。最常用的材料有以下几种。

18Cr2Ni4WA、40CrNiMoA 等牌号的合金结构钢。这类材料具有高的疲劳强度、低的缺口敏感性能,加工工艺性和焊接性能好。

1Cr11Ni2W2MoV 不锈钢。其特点是室温拉伸强度和蠕变极限高,并且具有良好的韧性和

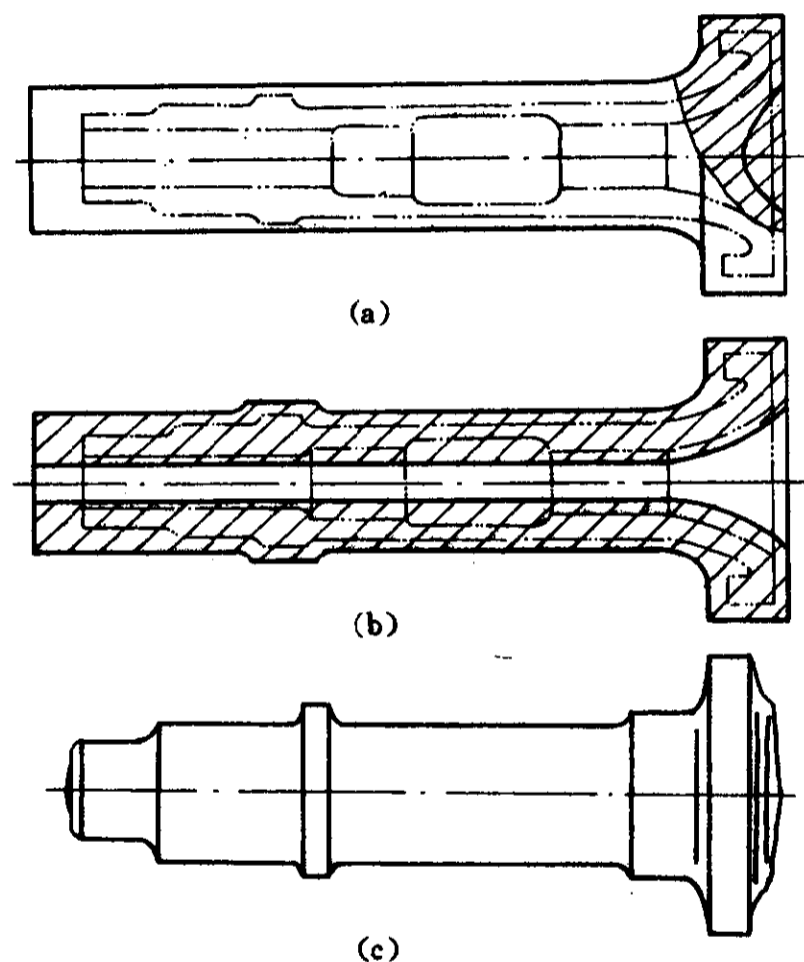
抗氧化性能,加工工艺性和焊接性能好。

GH4169 高温合金。该材料在 650℃以下屈服强度高,塑性好,耐腐蚀性能和抗氧化性能高,在-253~700℃很宽的温度范围内组织性能稳定,缺点是加工工艺性差。

§ 7-2 轴类零件加工工艺过程设计

一、毛坯选择

轴类零件的毛坯常采用模锻件。常见的轴类零件毛坯如图 7-4 所示。根据毛坯的形状,锻模的分模面可以顺着轴的轴线方向或垂直于轴线方向。通常是在轴的一端有凸缘而其余部分为光轴或直径逐渐减小的台阶轴的情况下,才可能采用横向分模。



(a) 涡轮轴毛坯 (b) 涡轮轴的空心锻造毛坯 (c) 压气机轴毛坯

图 7-4 轴的毛坯

图 7-4(b)为涡轮轴的空心锻件图。空心锻造的加工过程是:先切下管料,再在卧锻机上锻出凸边,最后在精锻机上成形。空心锻造的优点是:材料的利用率高,机械性能优于实心锻造,并且可节省大量钻孔加工的工时。空心锻造的问题是,在锻造过程中尚需不断提高其内外圆的同轴度。

毛坯各处的转接应平滑,材质的纤维方向应与轴的外形相符合。发动机上重要的轴的毛坯按 I 类检验进行验收,在这种情况下,需要从每个轴的毛坯一端切下一段长度为 70~75mm 的材料作为机械性能试验用的试件,因此,毛坯要相应加长。

毛坯在送到机加车间之前,还要进行必要的热处理。耐热合金锻件为固溶处理加时效,其余材料的锻件进行正火加回火。毛坯表面上的氧化皮采用酸洗或吹砂的方法去除。特殊的零件毛坯也可采用粗车的方法除去表面的黑皮。毛坯的表面缺陷深度不应超过单边余量的一半。

二、加工阶段划分

轴的机械加工通常分为三个阶段:粗加工阶段、细加工阶段和精加工阶段。

粗加工阶段:去除大部分加工余量,保证后续工序的余量均匀。粗加工时所采用的加工用量很大,常选用功率大、刚性好及生产率高的机床。

细加工阶段:消除粗加工和热处理产生的变形,一些次要表面在该阶段完成最终加工,对于主要表面,则为最后精加工作好准备。此外,钻孔、铣槽、滚花键和攻螺纹等工序也安排在细加工后期,因为这些表面加工时,需要有一个比较准确的基准。细加工阶段的加工余量比粗加工时小得多,加工时要避免产生变形和表面层机械性能、金相组织的变化。

精加工阶段:保证零件的全部技术要求。这个阶段的加工余量较小,加工精度很高,一般采用磨削与抛光等精加工方法,并选用高精度机床。

三、工序的集中与分散

轴类零件常采用工序集中的方法加工。使用数控机床加工时,也采用工序集中,这样不但可以提高生产效率,还能保证高的相互位置精度。

四、定位基准的选择

轴的位置精度主要是保证内圆表面间的同轴度、外圆表面间的同轴度以及内、外圆表面组之间的同轴度,同时要求内、外圆表面与其工作端面之间的垂直度。内圆表面间的同轴度、外圆表面间的同轴度以及与各工作端面的垂直度,常用一次安装来保证。至于内、外表面间的同轴度,则采用互为基准的方法来保证。

轴的初次定位基准常选择大端外圆,以利于传递扭矩。对于长轴,应在小端打顶尖孔,用大外圆及顶尖孔作初次定位基准。在以后的定位中,也常用顶尖孔或中心架作辅助支承。

五、热处理工序的安排

在设计工艺过程时还要注意热处理工序的安排,对要求进行调质处理的轴,可以在机械加工之前进行淬火与回火,以减少劳动量并缩短加工周期。但当加工余量较大时,可先进行粗加工,然后进行热处理。

对于要求局部渗碳的轴,其渗碳表面需要进行细加工,以保证渗碳层深度均匀。若非渗碳表面以镀铜保护,则热处理一般安排在粗加工阶段后进行。若采用余量保护,则对其先进行粗加工以及渗碳表面的细加工,然后进行渗碳,再将非渗碳表面的余量(保护用)切除,然后进行淬火与回火。

六、辅助工序的安排

发动机轴类零件加工时,其辅助工序的种类较多,如中间检验、特种检验和表面保护等。

中间检验一般安排在转换车间前和重要工序后进行。

特种检验一般需视其性质来安排。对于材料内部的探伤,如超声波检验、X光检验等,安排在工艺过程开始时进行。对于磁力探伤、着色检验等检测表面缺陷的工序,则一般安排在这些表面的精加工工序后进行。

腐蚀的目的是检查材质的晶粒度及零件的表层缺陷,由于最终零件上不允许有腐蚀层,因此要安排在细加工后、精加工之前。喷丸是为了表面强化,一般安排在精加工阶段。

七、工艺过程安排

轴的加工过程大致如下:

1. 毛坯(模锻件)
2. 粗加工阶段
 - (1) 切端面与钻顶尖孔(如果是长轴时);
 - (2) 车出安装中心架用的外圆表面(如果是长轴时);
 - (3) 钻轴心孔;
 - (4) 切下作试验用的试件(为第 I 类检验的轴用);
 - (5) 粗加工内外表面。
3. 中间检验
4. 热处理(淬火加回火)
5. 修复基准——车外圆基准面和中心架基准面(如果是长轴时)。
6. 细加工阶段
 - (1) 镗内孔;
 - (2) 车外表面;
 - (3) 铣槽及其它类似的型面加工;
 - (4) 钻径向孔。
7. 精加工阶段
 - (1) 镗或磨内孔;
 - (2) 抛光内孔;
 - (3) 磨外表面;
 - (4) 加工内外花键和螺纹;
 - (5) 抛光外表面。
8. 最终检验

对于渗碳轴要在粗加工阶段对渗碳表面进行细加工。

在精加工阶段中,如何决定孔和外圆的加工顺序是一个主要问题。一般情况下应该先加工孔到最后尺寸,然后以孔作定位基准来加工外圆,这样比较容易保证内外圆的同轴度。原因是用心轴来定位比用外圆夹具更容易保证高的定位精度。

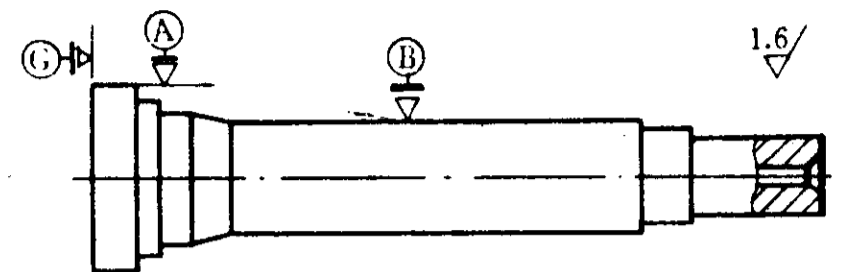
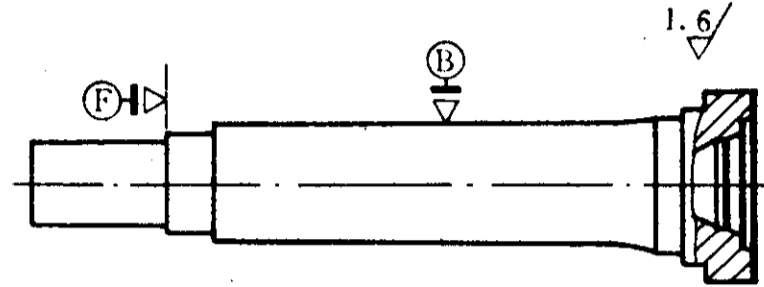
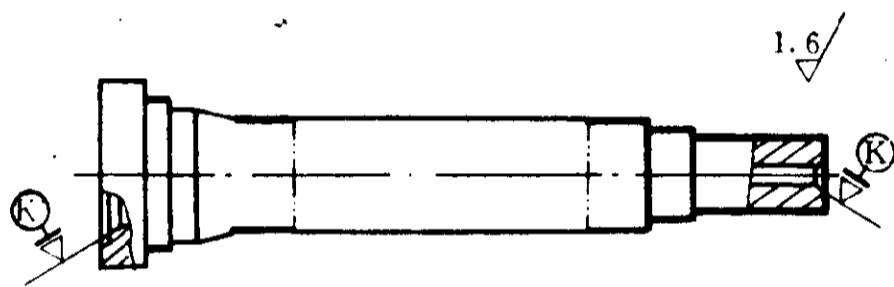
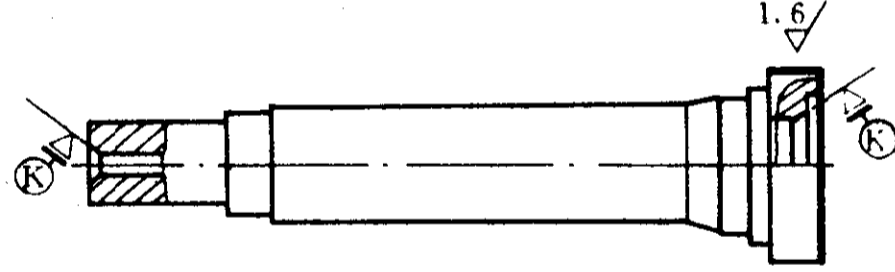
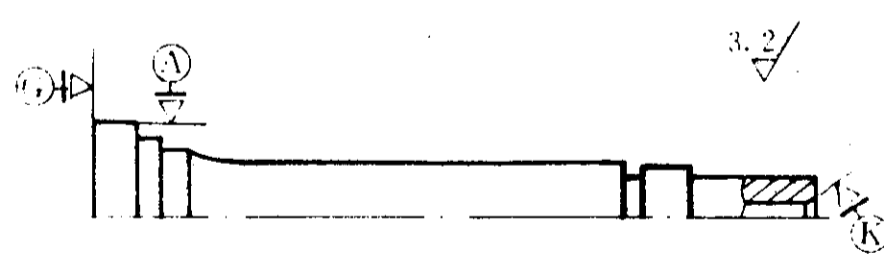
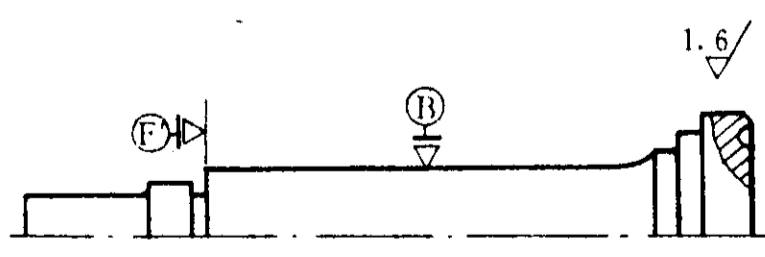
但由于象涡轮轴这样的零件,内外圆同轴度要求很高(0.015~0.02),即使用心轴定位也很难保证,而且涡轮轴的长度大,内孔为台阶孔,其最小孔的直径又很小,不适宜用心轴定位。此时定位必须采用校正的办法,校正工件时一般根据外圆来进行比较方便,因此,就要先加工外圆,而后加工内孔。

表 7-1 为图 7-1 所示涡轮轴简化的工艺过程。

表 7-1 涡轮轴的工艺过程

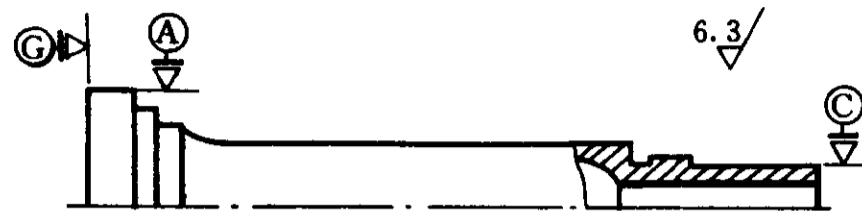
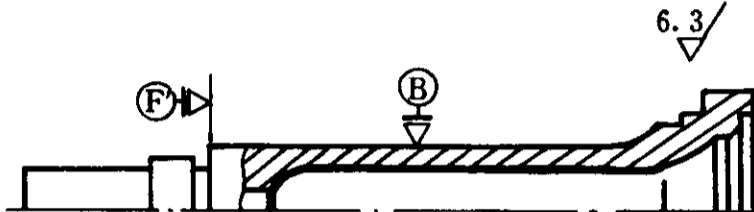

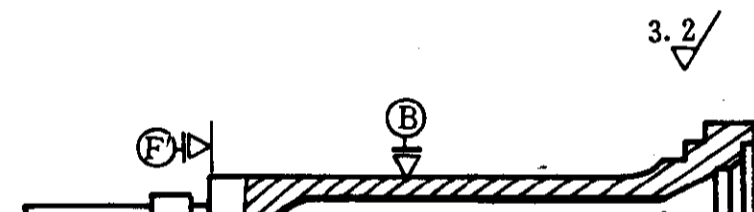
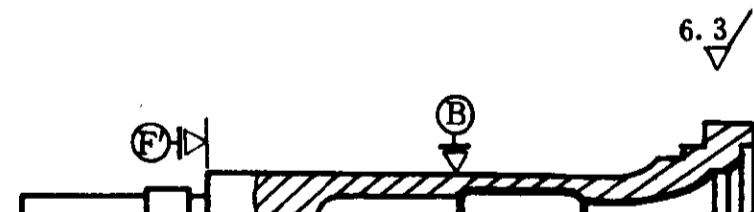
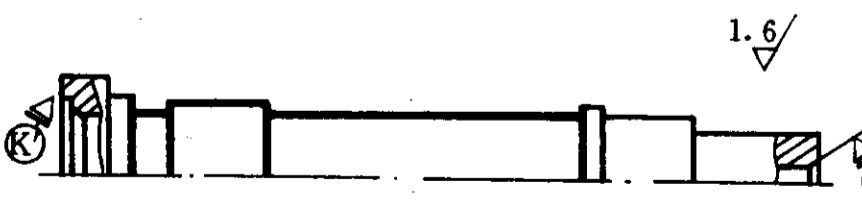
序号	工序名称	工序内容及简图	备注
0	毛坯		模锻件
5	切试件		粗加工阶段
10	热处理	$d = 3.55 \sim 3.15$	
15	打顶尖孔		
20	车外圆		
25	粗车头部及锥面		
30	检验		
35	车头总及锥面		
40	车外圆		

续表 7-1

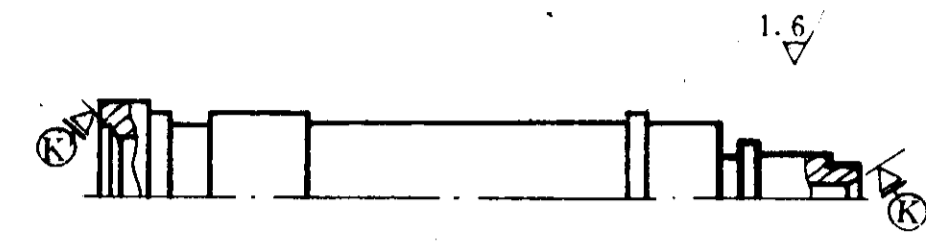
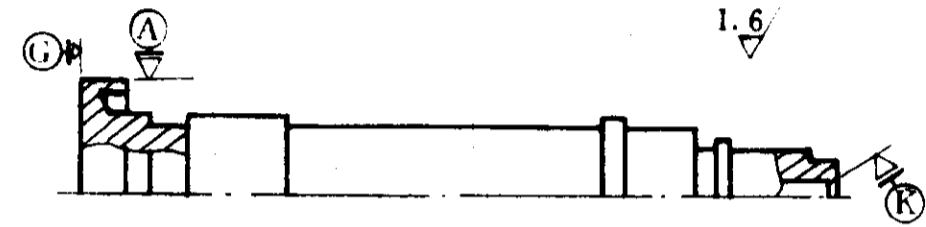
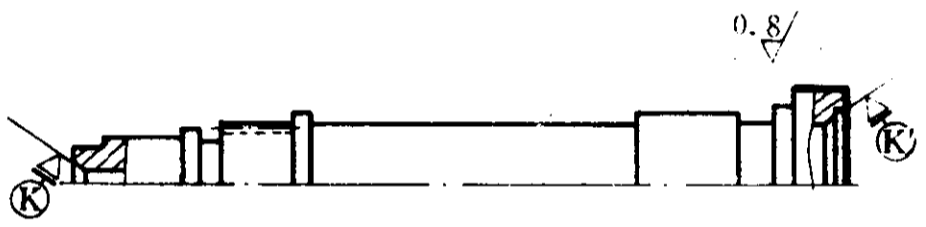
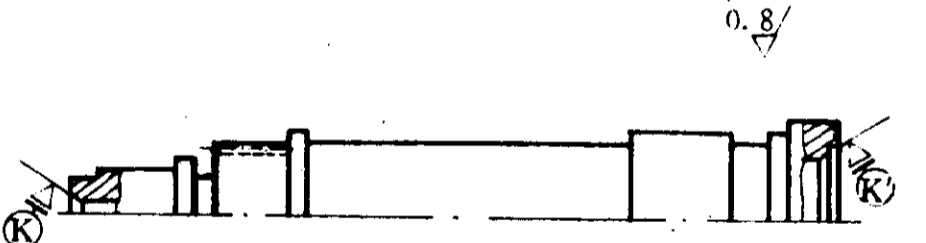
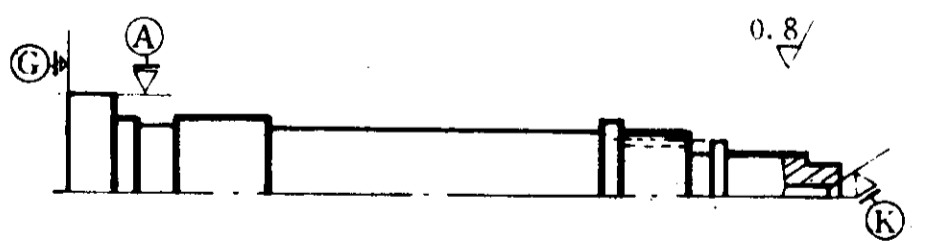
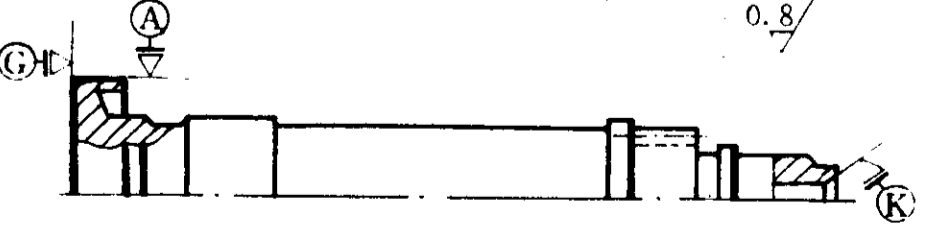
序号	工序名称	工序内容及简图	备注
45	车尾总端面及 顶尖孔		
50	车大头锥孔		
55	粗磨外圆		
60	磨大头的端面 及外圆		
65	车槽		
70	车大头倒角和槽		

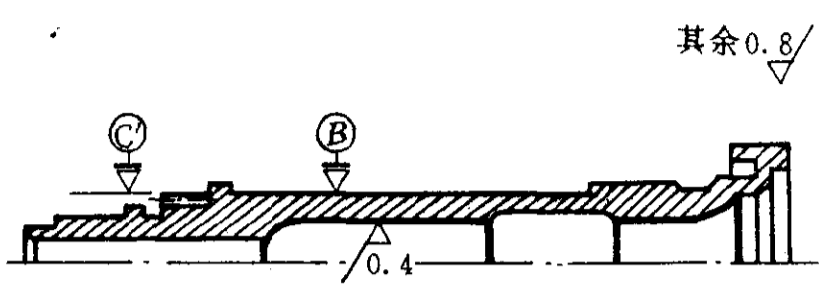
细加工阶段

续表 7-1

序号	工序名称	工序内容及简图	备注
75	粗镗小头孔		细加工阶段
80	粗镗大头孔		
85	细镗(或扩, 铰)小头孔		
90	细镗(或扩, 铰)小头孔		
95	靠模镗内腔孔		
100	车外圆		

续表 7-1

序号	工序名称	工序内容及简图	备注
105	车轴尾		细加工阶段
110	车头部槽及锥面		
115	滚花键齿		
120	铣槽		
125	磨头部端面及外圆		精加工阶段
130	磨槽		
135	磨外圆		
140	精车槽面及倒圆		

序号	工序名称	工序内容及简图	备注
145	抛光内孔		精加工阶段
150	钻孔、攻丝、去毛刺		
155	洗涤		
160	检验	磁力探伤	
165	洗涤		
170	最终检验		

§ 7-3 主要加工工序的进行方法

一、深孔加工

1. 深孔钻削加工

发动机涡轮轴的内孔多属深孔,加工比较困难。深孔加工时不能直接观察到刀具切削情况。加工这些深孔时容易产生孔的引偏、孔径扩大或排屑困难等现象。

深孔钻是一种常用的方法,刀具具有足够的刚度,它能获得较好的加工精度和表面粗糙度。目前工厂中普遍采用一种“喷射式深孔钻”(见图 7-5),它是由连接器、外钻管、内钻管、不重磨式硬质合金钻削头以及夹头和密封套等所组成。

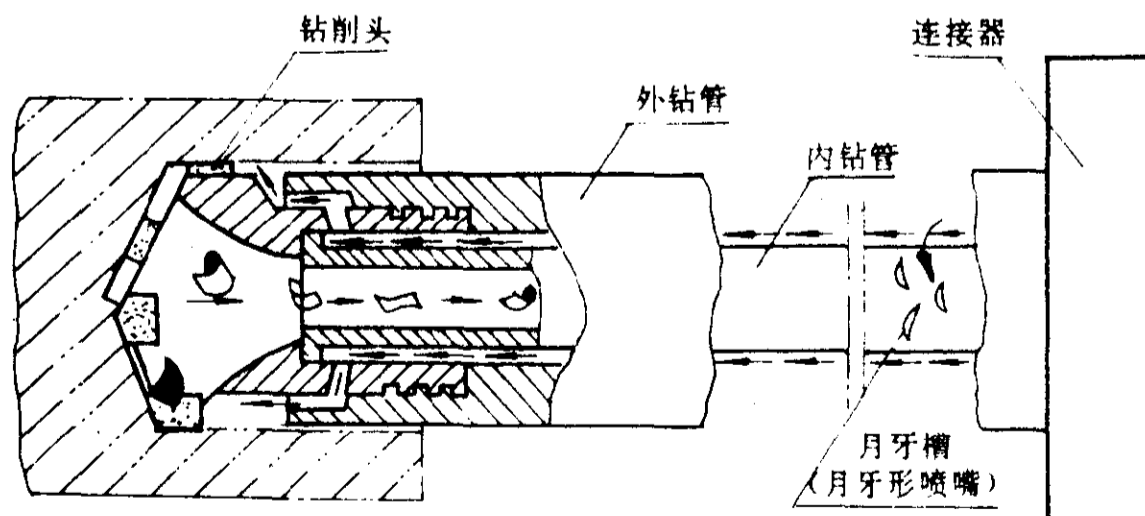


图 7-5 喷射式深孔钻

喷射式深孔钻的工作原理是:在钻孔过程中,切削液在压力下通过连接器入口,在内、外钻管之间流到钻削头内,大部分切削液在压力下通过钻削头上的孔,进入切削区,起着冷却润滑

刀片的主要作用;其余切削液由月牙形喷嘴经过内钻管直接向后排出,切削液的反向流动形成喷射器作用,在内钻管内产生部分真空区,使已经起到冷却润滑作用的切削液和切屑一起被吸进内钻管,然后由出口排出。

这种钻头的优点是切削效率高,被加工孔的质量稳定,加工过程中切削液不会到处飞溅,也不用停车去除切屑。

2. 镗深孔

镗孔是孔的一种精加工方法,目的是进一步去除余量,使孔的尺寸和形状符合图纸要求。镗深孔时由于刀杆很长,其刚性低,影响加工精度。所以必须采取措施增加镗刀和加工系统的刚性。

在镗刀杆上加夹布胶木导条是常用的一种方法,如图 7-6 所示。但在镗孔进行之前,应先用一般镗刀在孔端镗出一段精确的引导孔,与导条外径的配合间隙为 $0.03\sim 0.05\text{mm}$ 。这种方法适合镗直孔,可提高镗孔的精度。

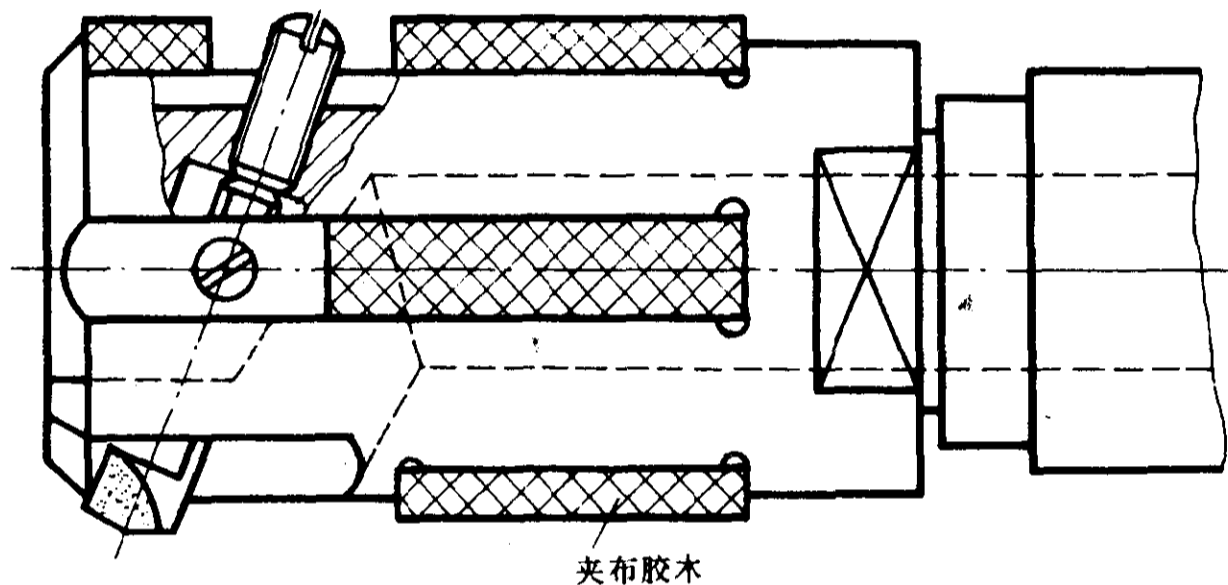


图 7-6 带导条的镗刀

镗深孔也可以用加填料的方法增加系统刚度(图 7-7),这种方法很适宜于加工长的薄壁轴。在镗孔前,先将轴放在专用夹具上,并在轴孔中放一根心棒(心棒的外径比刀杆直径大 $0.01\sim 0.02\text{mm}$),使心棒和轴的定位表面同心,然后向孔内浇铸高抗磨性的易熔填料,冷却后将心棒从轴中抽出。在镗孔时,刀杆从填料孔中进入,刀杆仅作旋转运动,工件作纵向进给运动。刀杆外表面上有输送切削液的螺旋槽。在切削过程中填料与切屑一起被切下来,并在热分离器中将填料和切屑分开(易熔填料的熔化温度为 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$)。图中 I, II, III 代表着三个工序,每进行一个工序,都要重新浇铸一次。

在液压仿型镗床上镗削深孔是较好的方法,它是在一次安装中加工孔的各段表面,较容易保证孔内各段表面的同轴度。加工情况如图 7-8 所示,工件由中央传动以卡盘夹紧,卡盘安装在滑座上,滑座借助于液压仿形装置按靠模在横向作仿型运动,刀具仅作纵向送进,从而加工出各段内腔型面。镗直孔时刀可以从两面同时进行切削,如图 7-8(a);工件进行仿型运动时,是单向镗削,如图 7-8(b)。

二、型面的加工

轴的外表面主要是由外圆面和成型表面组成的。外圆面一般采用普通车削或磨削加工。型

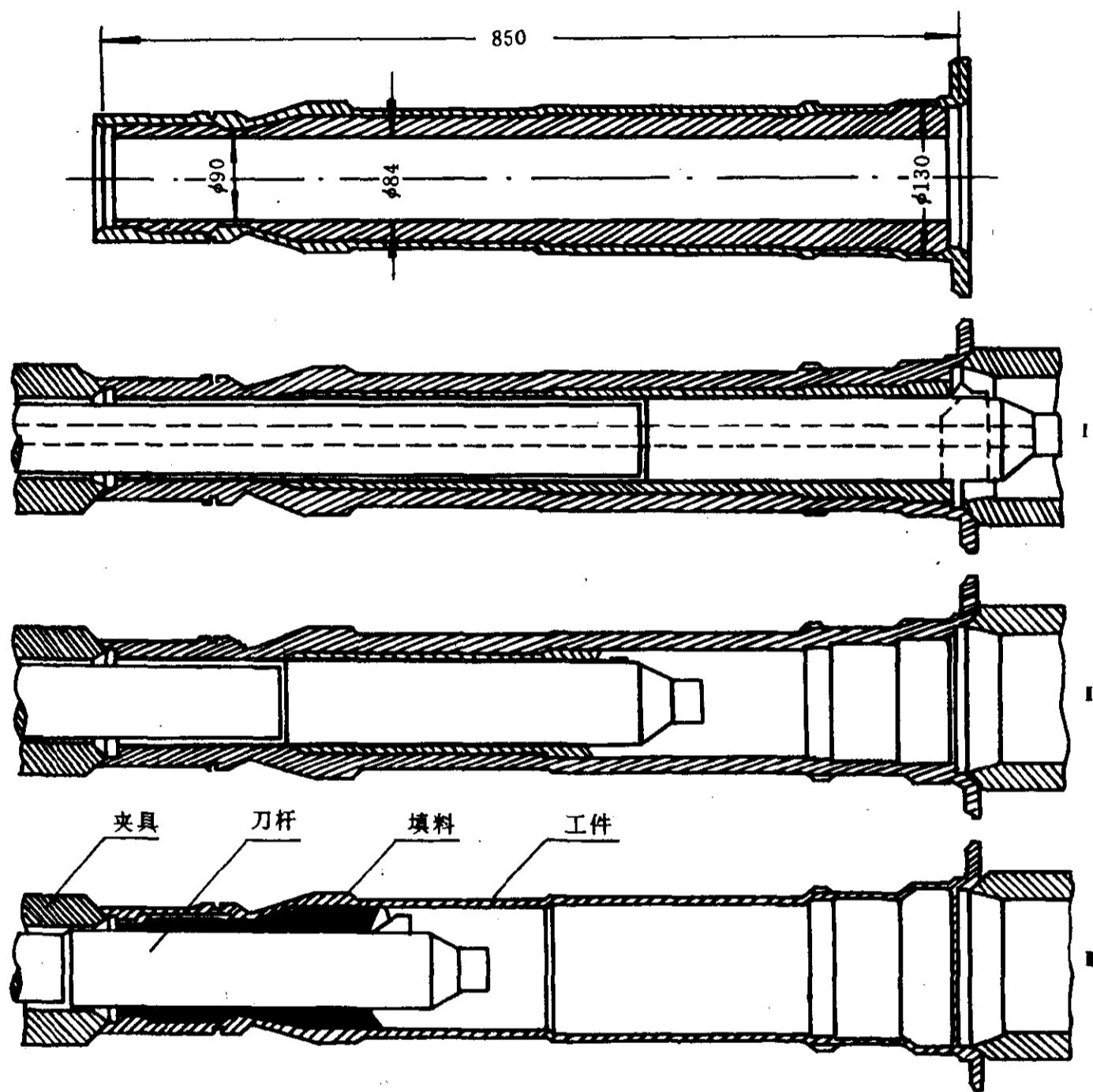
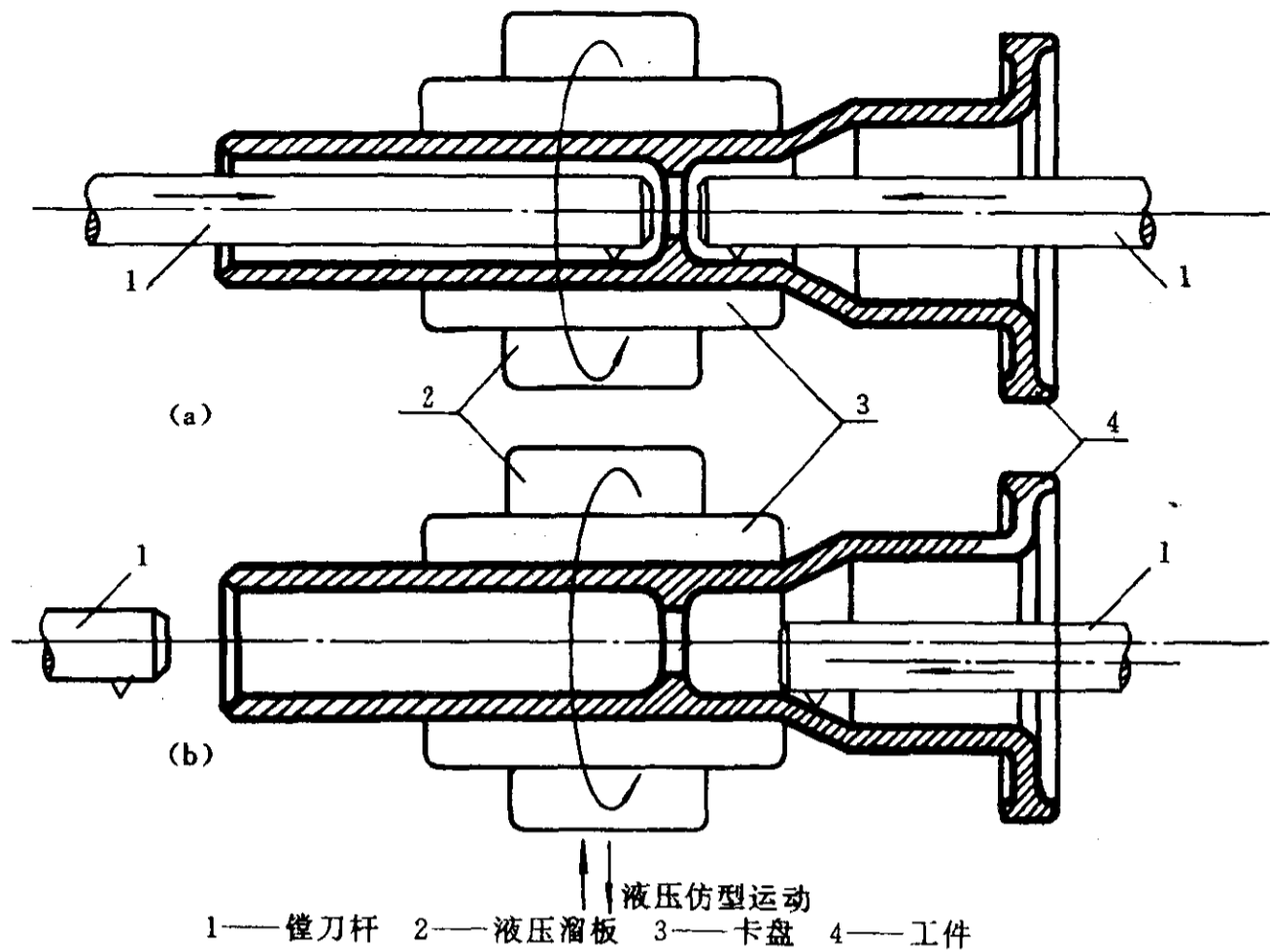


图 7-7 用加填料的方法镗薄壁轴的孔

面一般可以用靠模或成型刀具加工。这种加工方法加工精度不高,工件质量也不稳定,对于复杂型面无法保证设计要求。目前多采用普通机床先进行粗加工,再用数控车床进行精加工。图 7-9给出了某后轴零件内型面数控加工的示意图,分七个工步,用六把刀完成整个内型面的加工。

三、花键加工

矩形或渐开线形的花键通常是在花键铣床上采用展成法以滚铣刀铣削而成的。重要轴的花键在铣削后还要经过磨削。如图 7-10 所示,用成型砂轮磨涡轮轴上的花键。砂轮的形状是用一个打光刀与砂轮缓慢对滚而修整成型。



(a) 双面同时镗削直线段孔 (b) 按靠模精镗各段的内孔(单面)

图 7-8 液压仿型镗孔

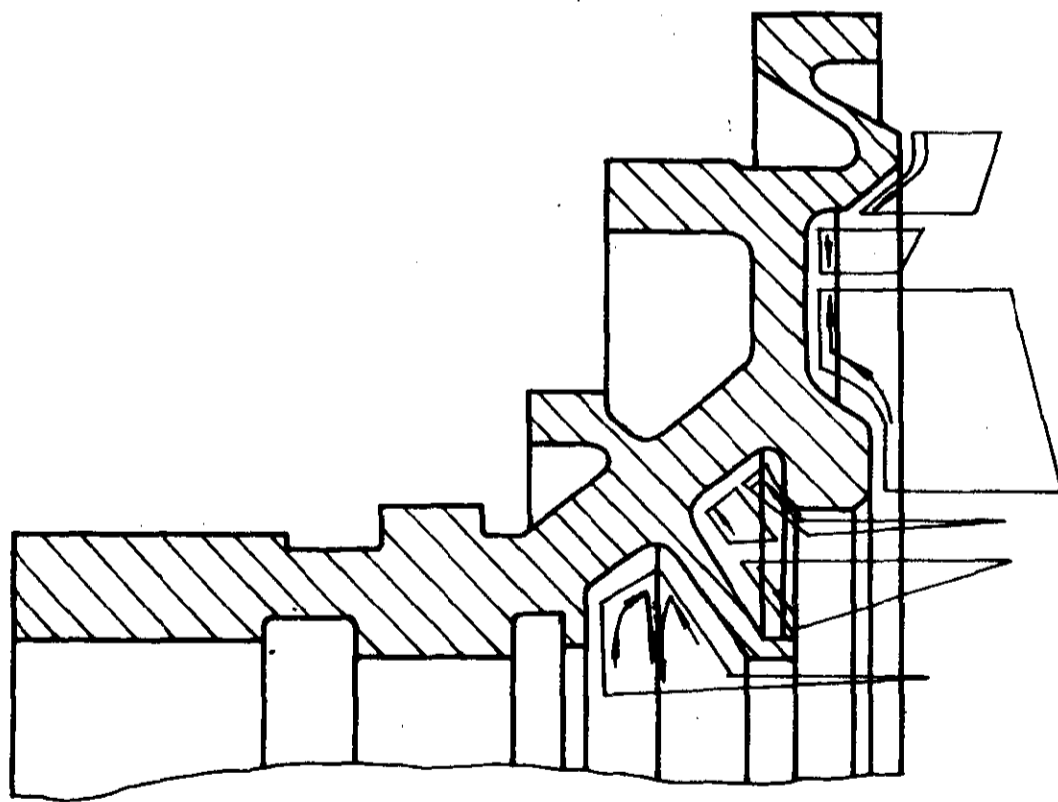


图 7-9 后轴内型面数控加工示意图

图 7-11(a)所示为修正砂轮时所用的打光刀,材料为 CrWMn,硬度为 HRC61~64,修整砂轮时把打光刀放在机床床面专用支架上(图 7-11(b)),使砂轮和打光刀接触,保持一定的压力,使二者缓慢旋转,打光刀利用 1.5~2mm 宽的槽的刃口把砂轮挤压成型,为了避免槽的刃口在砂轮上形成重复轨迹,将槽距作成不等角的。

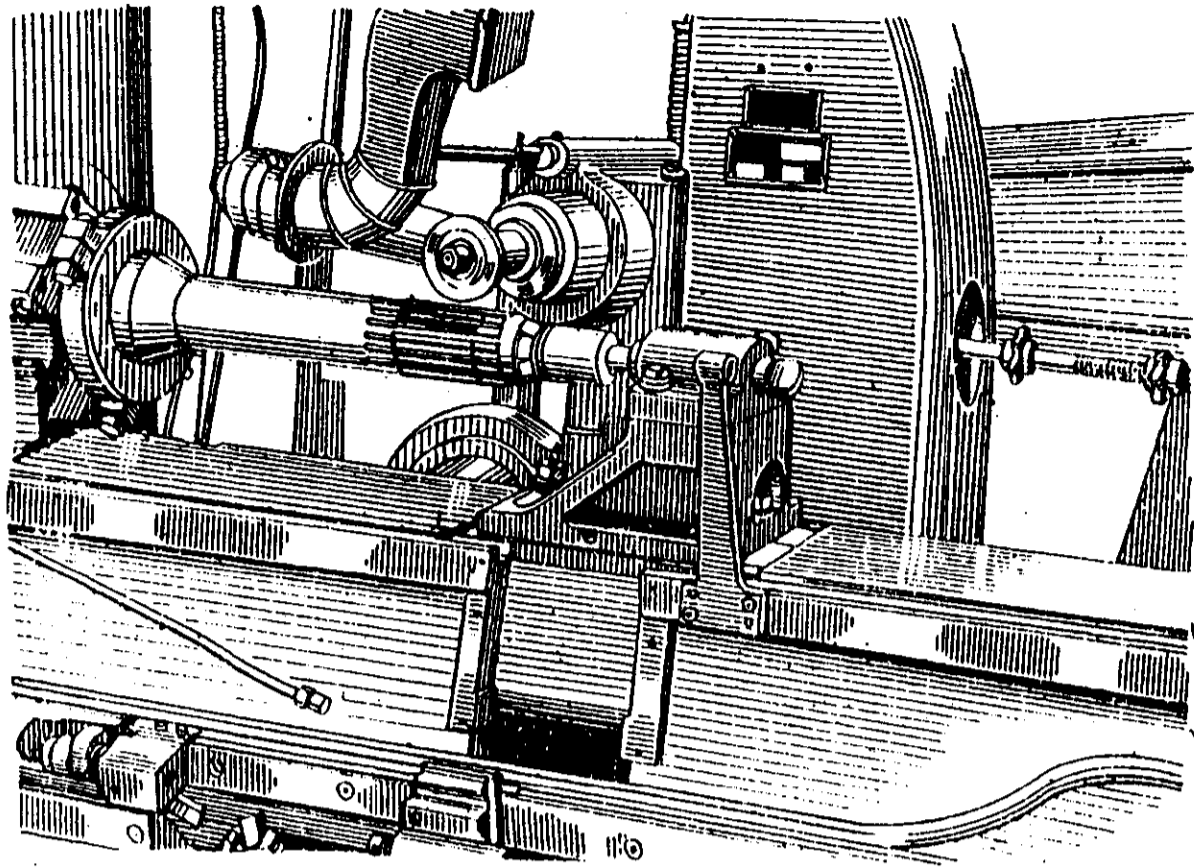
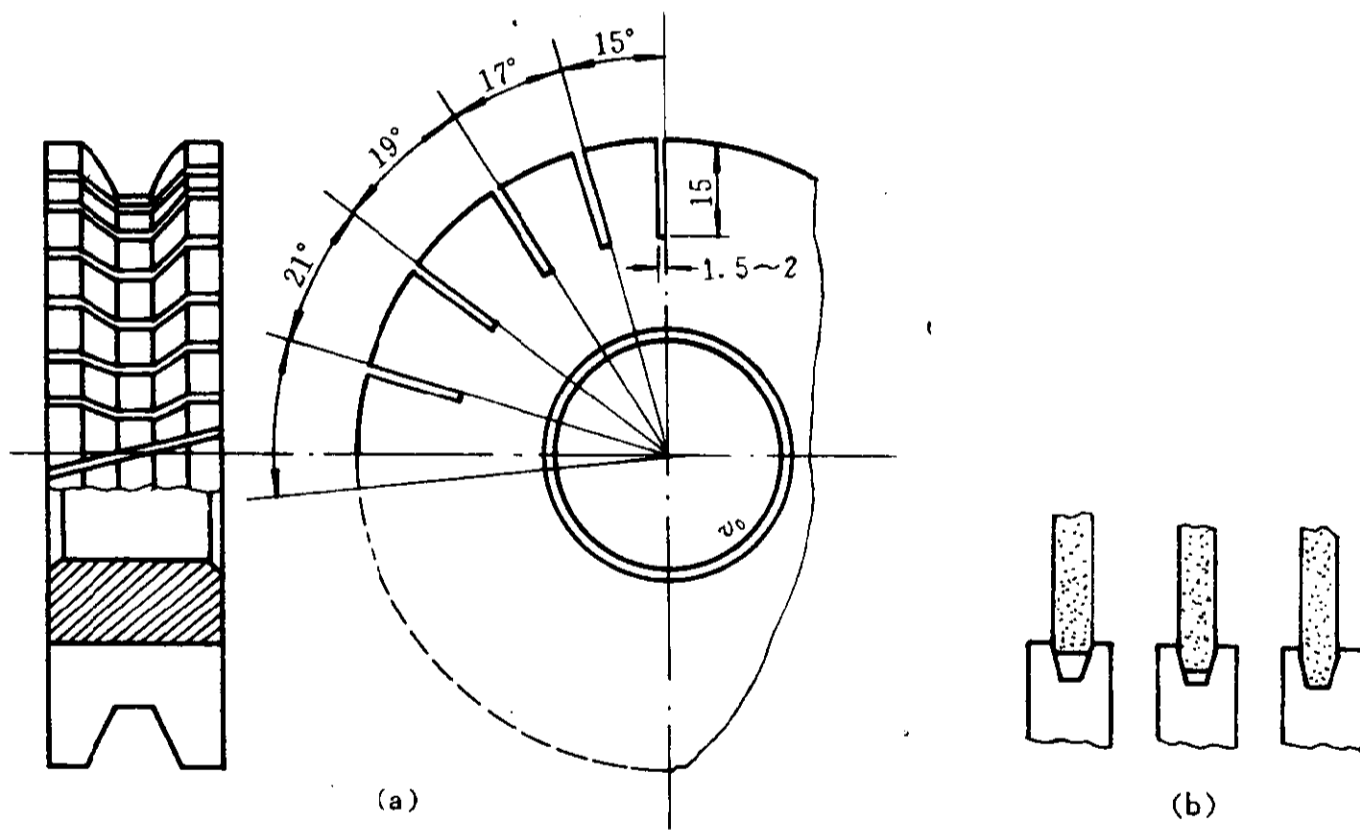


图 7-10 磨涡轮轴上的花键



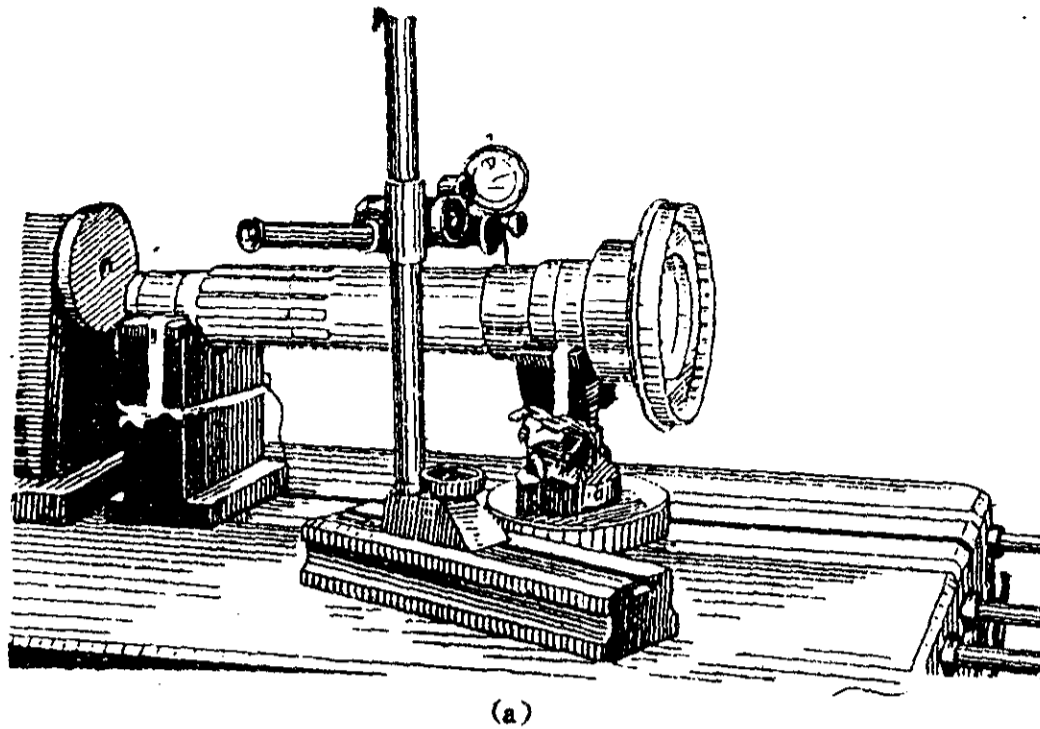
(a) 修整砂轮用的打光刀 (b) 修整砂轮时砂轮成型过程

图 7-11 修整砂轮的工

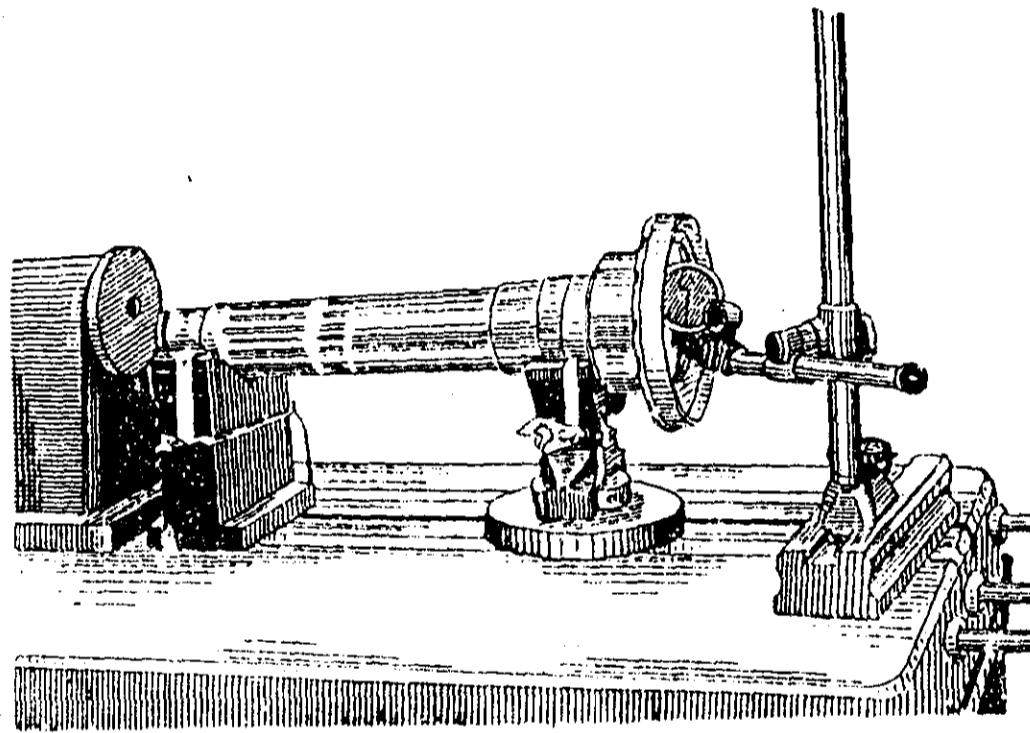
§ 7-4 轴的检验

长轴的同轴度及端面跳动的检查,一般采用测量夹具进行检验,如图 7-12 所示。将轴的基本表面支在 V 形块中,使轴保持水平,并在轴尾端用挡块挡住,防止轴向移动,然后用百分表

或千分表逐个检查各表面对基准的同轴度(或径向跳动以及端面跳动)。



(a)



(b)

(a) 涡轮轴外轴颈的跳动量 (b) 涡轮轴凸缘内凹槽的跳动量

图 7-12 同轴度及端面跳动的检查

为了使轴在高速旋转时保持平衡,对轴的内外表面壁厚差有较严的要求,壁厚差的检验也是采用专用测具,如图 7-13 所示,零件 2 套在支杆 6 上,并由小车 1 上的滚轮支架托住,支杆 6 与百分表杆架 5 都固定在支架 7 上,支架 7 又绕轴 8 转动,为了避免摆动过大,在支架下端有一限动器 10,限制支架的摆动范围。为了使触头 3 与零件内壁始终接触,可以通过配重 9 调整压紧力。当转动零件时,即可由百分表 4 读出被测截面的壁厚差数值。小车 1 带着工件 2 可在底座的导轨上沿轴向滑动,轴向移动小车,即可测出零件各个不同截面的壁厚差。

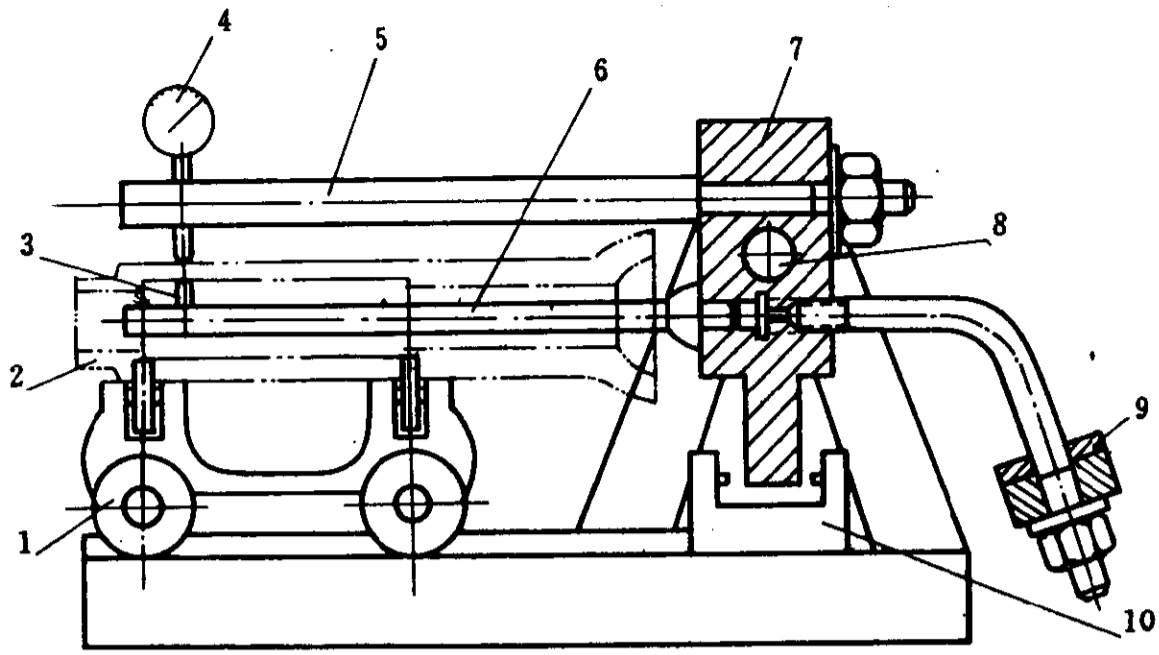


图 7-13 检验壁厚差的测具

第八章 盘类零件的加工

§ 8-1 构造、技术条件与材料

涡轮盘(图 8-1)、压气机盘(图 8-2)都是发动机的主要零件,是在高温、高速下工作的,一般转速在 10000~20000r/min 之间,涡轮盘的工作温度是 500~800℃,压气机盘为 0~430℃。在工作状态下,盘本身受很大的应力,如涡轮盘所受最大应力高达 500MPa。

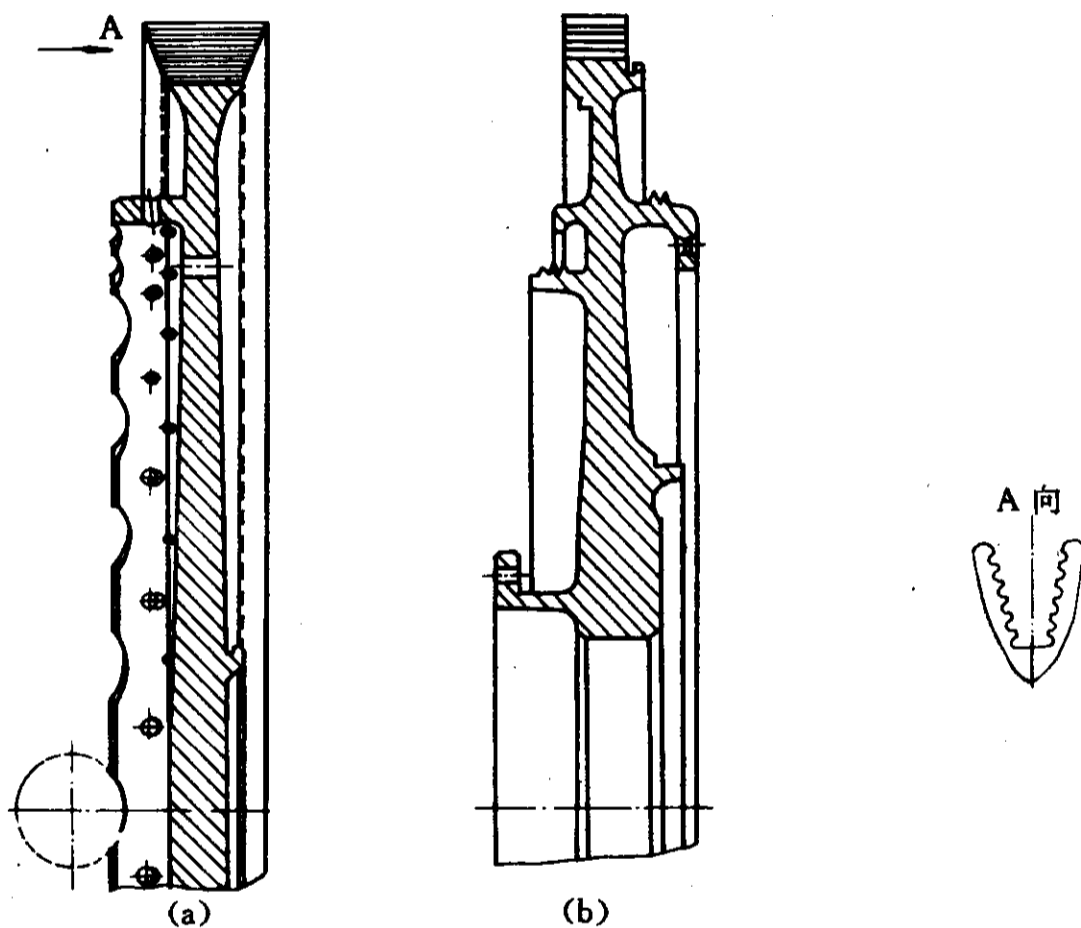
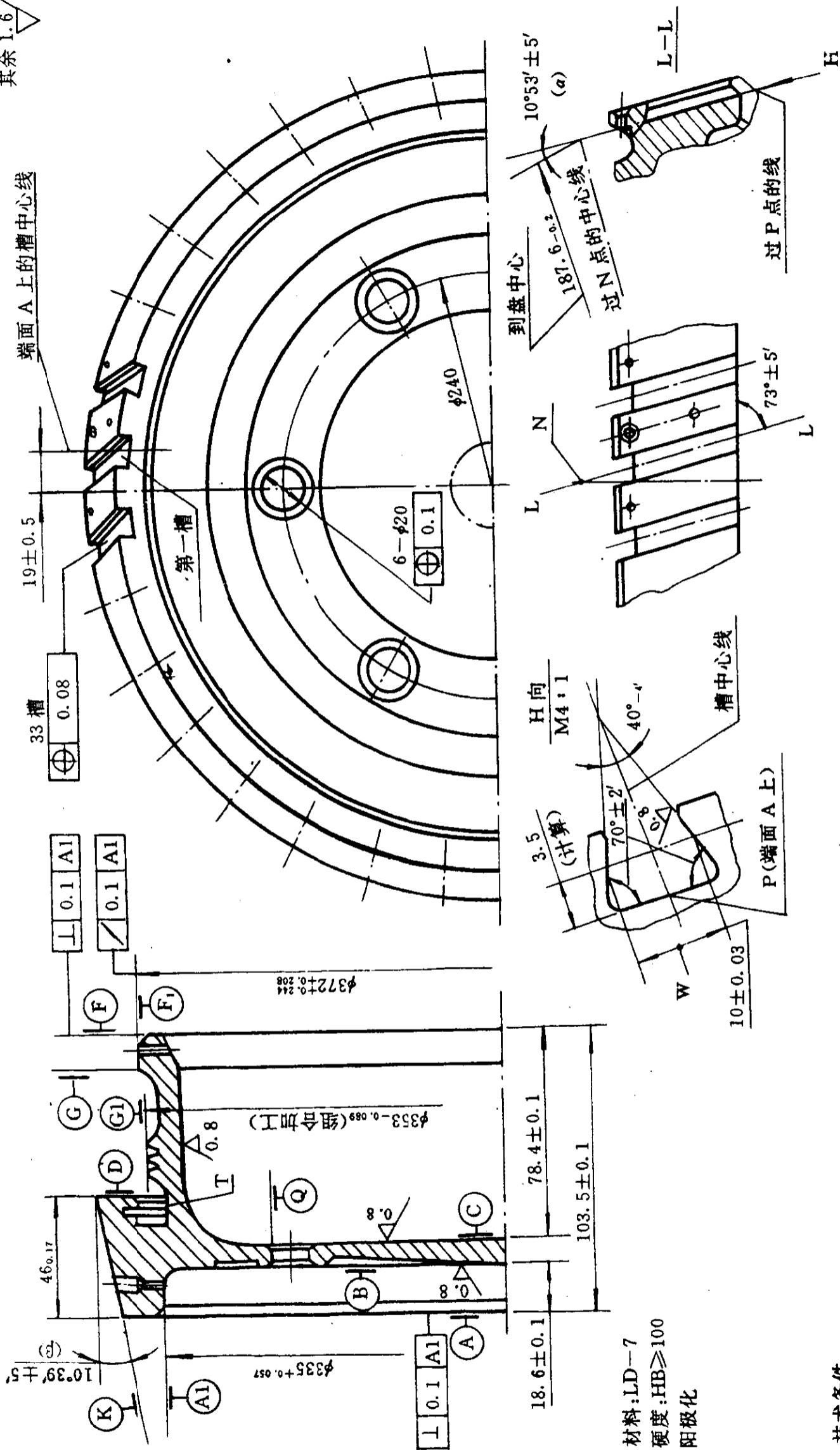


图 8-1 涡轮盘

一、结 构

盘的尺寸较大,壁很薄。在盘的圆周上有很多安装叶片用的榫槽,涡轮盘多为枞树形榫槽,压气机盘多为燕尾形(压气机高压盘部分有时也用枞树形榫槽),槽和盘的轴线一般是斜交的,压气机盘的榫槽,也有的采用环形燕尾形槽。榫槽本身的形状、尺寸以及相互位置精度要求都很高。为了和轴连接或彼此连接(在二级和多级涡轮中),在盘上规定有精确的圆柱形配合环面。因盘腹板的剖面作成等强度形,因此它的两侧通常是由型面组成。为了使盘具有高的强度、轻的重量,随着冶金工业的发展,耐高温、高强度材料的出现,盘类零件日益向着薄形件发展,目前压气机盘腹板最薄处为 1.2~0.9mm。有的发动机,压气机转子已采用了整体焊接结构。

其余 1.6



技术条件:

1. 毛坯: 模锻件 I 级检验
2. 自由尺寸公差按 IT12
3. K 和 P 点对 AI 的圆跳动为 0.1
4. 允许 3 个槽的 P 点的圆跳动至 0.2
5. 自由状态下, 盘中心对 A、F 的凹、凸度为 1.5 (保持幅板厚度情况下)
6. 同一槽内“W”之差为 0.015
7. F1 在机床上检查, 自由状态下 F1 的不圆度为 0.3
8. 在成品上, 允许 α、β 角因变形可增大至 ±10'

图 8-2 压气机盘

二、技术要求

所有盘的表面应仔细加工,不应有划痕和突然的转接部分,以避免应力集中。盘的主要技术要求如下:

1. 尺寸精度

- | | |
|-----------------|-------------------------------------|
| (1) 盘的外圆直径: | IT7~IT8; |
| (2) 配合环面尺寸精度: | IT6~IT7; |
| (3) 轴向尺寸精度: | IT6~IT8; |
| (4) 花键: | IT6~IT7; |
| (5) 封严篦齿直径尺寸精度: | IT8~IT9; |
| (6) 燕尾形榫槽的宽度公差: | $\pm 0.03 \sim \pm 0.05\text{mm}$; |
| (7) 枞树形榫槽宽度公差: | $\pm 0.05\text{mm}$ 。 |

2. 形状精度

- | | |
|----------------|---------------|
| (1) 径向配合表面圆度: | 0.009~0.01mm; |
| (2) 轴向配合表面平面度: | 0.01~0.015mm; |
| (3) 腹板轮廓度: | 0.10~0.15mm; |
| (4) 枞树型榫槽面轮廓度: | 0.02mm。 |

3. 相互位置精度

- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| (1) 外圆对基准的跳动量: | 0.025~0.04mm; |
| (2) 销钉孔的位置度公差: | $\phi 0.05 \sim \phi 0.2\text{mm}$ |
| (3) 榫槽之间的周节允差: | 0.2~0.3mm; |
| (4) 榫槽轴线在100mm长度上的偏斜: | 小于0.2mm; |
| (5) 端面花键的齿距允差: | 0.02mm; |
| (6) 端面花键的允许跳动: | 0.05mm; |
| (7) 端面对基准的跳动: | 0.02~0.05mm; |
| (8) 端面之间平行度: | 0.025~0.06mm。 |

4. 表面粗糙度

- | | |
|------------|--------------------------|
| (1) 配合表面: | $R_a 0.8 \sim R_a 0.4$; |
| (2) 榫槽表面: | $R_a 0.8 \sim R_a 0.4$; |
| (3) 非配合表面: | $R_a 3.2 \sim R_a 0.8$ 。 |

三、材料

由于盘类零件的工作环境不同,所以采用的材料也不一样。盘类零件常用的材料有:铝合金、钛合金、合金钢、耐热钢和高温合金。

压气机盘常用铝合金、钛合金、合金钢和耐热钢制成,有时也采用高温合金。常用的材料牌号有:

- | | |
|------|---------------------|
| 铝合金: | LD7、LY16; |
| 钛合金: | TA8、TC4、TC11; |
| 合金钢: | 18CrNiWA、30CrMnSiA; |

耐热钢: 1Cr11Ni2 W2MoV、1Cr12Ni2MoVNb;

高温合金: GH698、GH901、GH4169。

涡轮盘则用耐热钢和高温合金制造。其材料牌号为:

耐热钢: 1Cr12Ni2WMoVNb;

高温合金: GH4036、GH4133、GH4169、GH698 和 GH901。

§ 8-2 盘类零件加工工艺过程设计

一、毛坯的选择

由于压气机盘和涡轮盘都是在高速条件下工作,受力大、要求强度高,所以毛坯均为模锻件(图 8-3),一般采用重型锤锻机在封闭模中锻造出来。由于盘的直径很大,而轮缘及腹板部分又相当薄,所以加工余量不能太小,某些部分加工余量达 10~12mm。由于余量很大,金属平均利用率很低,有时不足 20%。这样既浪费了大量贵重材料,又增加了加工量,因此对盘类零件来说研究和采用先进的毛坯制造方法,提高毛坯精度,实现毛料精化,是制造盘类零件的发展方向。

毛坯在锻造后,一般需要进行退火或正火处理,以改善加工性并去除应力。盘类零件的检验类别为 I, I 级。在腐蚀过的毛坯试片上不允许有白点、缩孔和裂纹等内部缺陷,并常采用超声波探伤检验毛坯材料内部的致密性和是否有缺陷。

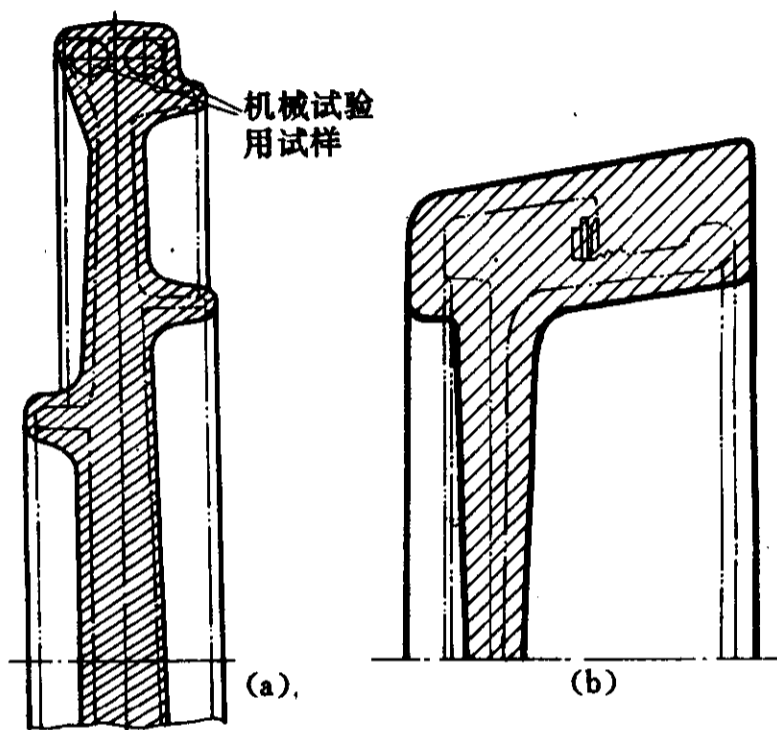
二、加工阶段划分

盘类零件在构形上刚性差、精度要求高,而且加工余量又大,所以加工过程划分为三个阶段,即粗加工阶段、细加工阶段和精加工阶段。

粗加工阶段:去除大部分加工余量,保证以后工序的余量均匀。该阶段主要是加工外圆和端面,由于余量大、工件重,因此车削加工常采用立式车床。

细加工阶段:去掉粗加工造成的表面缺陷,纠正锻造和粗加工内应力引起的盘件变形。一些非工作表面完成最终加工,榫槽、花键和小孔的加工也安排在细加工后期。该阶段工件刚度已经很差,加工过程中要注意工件的变形。

精加工阶段:保证零件的最终尺寸要求。在精加工阶段,加工余量较小,加工精度很高,主要问题是如何保证精度。盘类零件在精加工之后一般还要安排光整加工,目的是消除上述加工阶段中由于工件周转出现的轻微碰、划伤,并且满足设计图中规定的表面强化处理与表面处理等要求,提高表面质量。



(a) 涡轮盘毛坯 (b) 压气机盘毛坯

图 8-3 毛 坯

三、工序集中与分散

在加工盘类零件时常采用工序集中原则,只有加工尺寸较小、重量较轻的盘,工序可适当分散,这主要是因为:

(1) 工件重而大,搬运困难,每次定位都是采用找正的办法,采用工序集中后可以减少定位次数,提高零件的加工精度(尤其是各表面之间的位置精度),减轻工人劳动,节省辅助时间。

(2) 工序集中后,可以充分利用多刀、数控等高生产率的机床。

四、定位基准的选择

加工盘最方便的基准是端面和盘的中心孔或配合环面。前后两个端面作为轴向定位基准,盘的中心孔或配合环面,作径向定位基准,角向定位基准可选盘上沿圆周分布的孔。

盘的位置精度要求较高,其中同轴度的关系也比较复杂,对加工质量和加工顺序的影响较大。而盘不能在一个工序中完成全部加工,所以定位基准在整个工艺过程中就产生了转换问题。定位基准转换以后将影响位置精度的保证。因此,常采用一次安装或互为基准的方法来保证。如同一端内外表面之间的同轴度以及与端面的垂直度,均是在一次安装中加工,而两端表面之间的同轴度则用互为基准的方法保证。另外,盘类零件定位时常采用找正的方法,这是因为零件尺寸大,精度要求高,使用夹具也很难保证相互位置精度要求。

定位后夹紧工件时,着力点的选择对零件变形有很大的影响。在粗加工时,因精度要求不高,相对刚度较大,为了简便,常采用径向夹紧。而在细、精加工时,为了减小夹紧变形对精度的影响,故采用轴向夹紧。在采用轴向夹紧时,需注意基准端面的平面度,因为平面度对夹紧变形的影响很大。如果基准面不平,依据它加工出的其它端面就会翘曲,而旋转面则会出现椭圆,所以常用着色或塞尺进行平面度的检验。当盘在轴向不易夹紧时,可以制造工艺辅助基准,供轴向夹紧用。如图8-4所示,某压气机盘在端面上增加一块材料作为夹紧用。

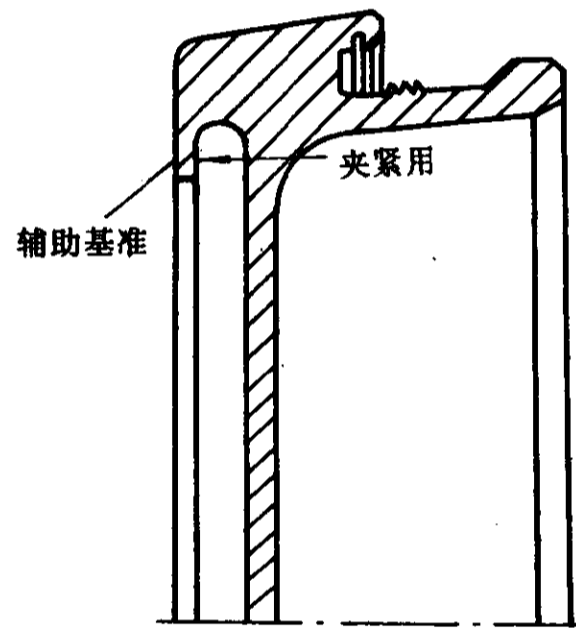


图 8-4 采用辅助基准的盘

五、热处理工序的位置安排

保证机械性能的热处理工序,通常安排在粗加工之后、细加工之前进行。对于腹板较薄、刚度差的盘,为了控制盘的变形,通常在细加工阶段,或在细加工之后、精加工之前安排稳定热处理。根据盘件材料性能的特殊需要,在粗加工之后还需要安排真空稳定热处理,以消除加工中产生的残余应力,防止产生裂纹和发生应力腐蚀等。

六、辅助工序的安排

发动机盘类零件加工时,其辅助工序的种类较多,如中间检验、特种检验和表面保护等。中间检验一般安排在转换车间前和重要工序后进行。

特种检验,一般需视其性质来安排。对于材料内部的探伤,如超声波检验与 X 光检验等,均安排在工艺过程开始时进行。由于超声波探头和工件接触的表面要求粗糙度达 $R_a1.6$,所以要在检验前对检验表面进行加工。对于磁力探伤、荧光检验等检测表面缺陷的工序,则一般安排在这些表面的精加工工序后进行。表面处理工序,多安排在最终加工工序之后。

七、工艺过程安排

盘的加工过程大致如下:

1. 粗车端面和外圆(主要加工探伤表面);
2. 超声波探伤检验;
3. 粗加工外表面和端面,镗凹槽或盘中心孔(取决于盘的构造);
4. 中间检验;
5. 热处理;
6. 加工基准表面;
7. 细加工外圆和端面;
8. 加工腹板型面;
9. 钻腹板上的孔;
10. 榫槽加工;
11. 花键加工;
12. 钳工加工;
13. 配合基准面的最后加工;
14. 静平衡;
15. 无损检验;
16. 光整加工和强化处理;
17. 终检;
18. 防蚀处理。

对于具体的盘,由于材料、尺寸或结构上的差别,使工艺过程的安排会有一些小的变化,比如小的涡轮盘刚度好,热处理就可以放在工艺过程的最前面进行。

图 8-5 给出了图 8-2 所示压气机盘的简化工艺过程。

八、工艺过程分析

各工序的作用及位置安排的原因如下:

1. 工序 5

本工序为准备工序,为超声波探伤作准备(加工两平行平面)。因为表面粗糙度对探伤的准确度有较大的影响,所以,一般均需要加工到 $R_a1.6$ 。

2. 工序 10

本工序为超声波探伤

超声波探伤安排在一开始加工时进行,其目的是为了及早发现内部缺陷,以免浪费工时。

另外,超声波探伤在上下表面约有 $0.6\sim 1\text{mm}$ 的盲区,因此,探伤工序不宜靠后。

探伤的部位,与毛坯制造的条件有关,压气机盘在锻造时,在轮缘以及与腹板的转接部分,

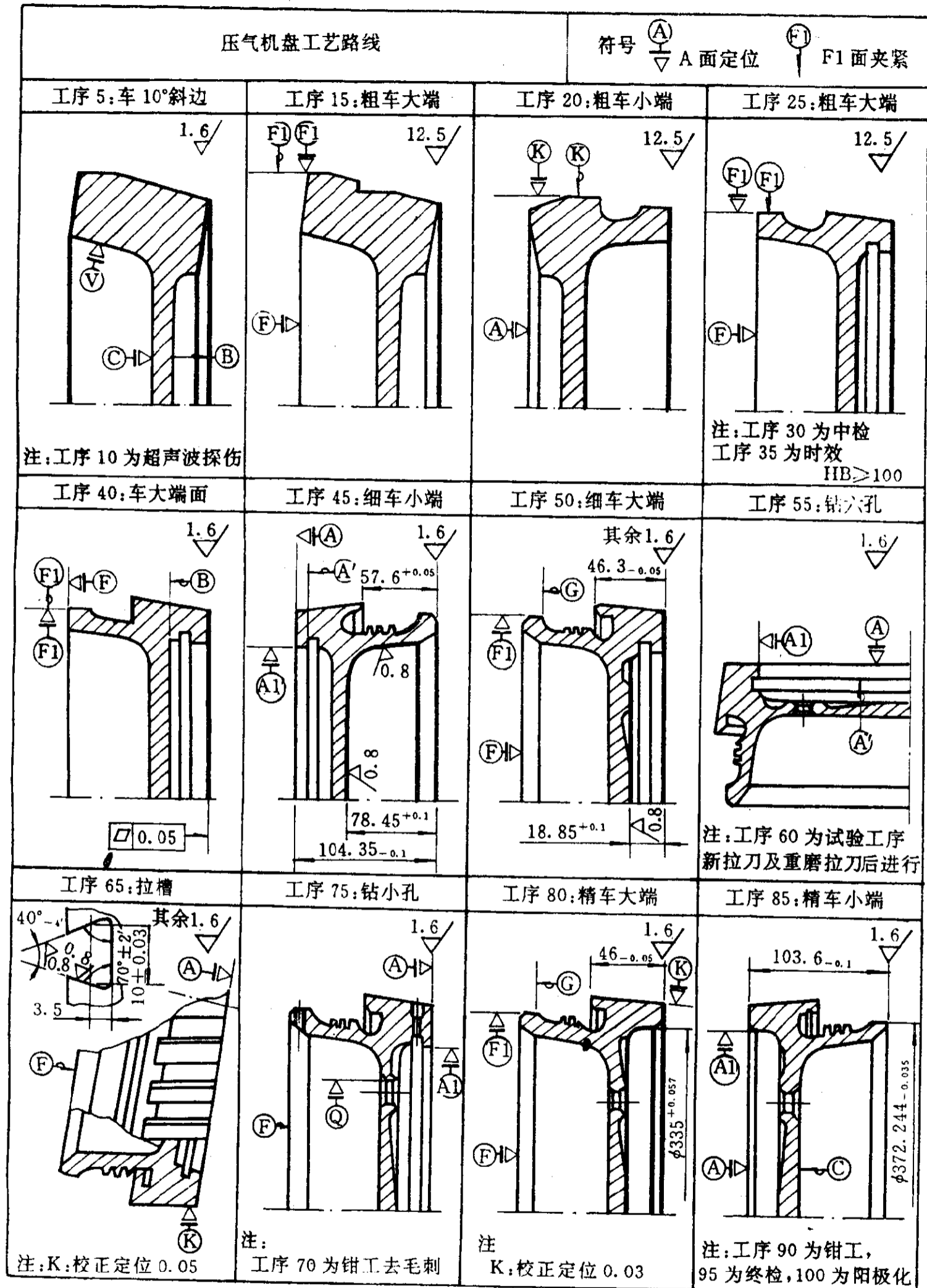


图 8-5 压气机盘工艺路线简图

最容易产生裂纹、皱折和夹杂, 所以要对这一部分进行探伤, 而中心部分则不予检验。

3. 工序 15, 20, 25

这三个工序为粗加工。

粗加工采用三个工序,大小端交替加工,其目的是使加工后的表面位置准确,从而保证以后工序的加工余量均匀。

工序 15 的主要目的是为工序 20 作基准准备。在工序 20 中,将小端的大部分余量切除,同时也为工序 25 作基准准备。大端的余量主要在工序 25 中切除,而不在工序 15 中一下就加工出来,这是因为工序 25 的基准比较准确,被加工的表面可获得较高的准确度。

4. 工序 30

本工序为中间检验工序,因为下一个工序是热处理工序,需要转换车间,所以要安排中间检验。

5. 工序 35

本工序为热处理工序,铝合金热处理采用淬火、时效。

热处理安排在粗加工阶段后进行的目的是,为了消除粗加工所产生的内应力。此外,热处理后(时效后),可提高材料的硬度($HB \geq 100$),以便获得较好的表面质量。

6. 工序 40

本工序的目的是修复基准。

由于热处理后,压气机盘要产生翘曲变形(表面 A, F 的翘曲变形量为 $0.6 \sim 1\text{mm}$),为了使细加工时的轴向定位基准准确,必须将翘曲修平。

7. 工序 45, 50

这两个工序是细加工大小端,在基准修复后进行。

工序 45 的余量较大,在加工时,先将内外形各表面全部先加工一次,切除本工序的大部分工序余量,然后对内外形各表面再进行一次加工,切除留下的工序余量。

在一个工序中,这样分两次加工,可以减小变形对精度的影响。因此,在一个工序中,当各表面加工互有影响时,可分为两次加工,而且一般将要求较高的表面放在后面加工。

8. 工序 55

本工序在腹板上钻六个均压孔。为了改善车腹板时的加工条件,钻孔工序安排在车腹板加工以后进行。

另外,这六个均压孔是拉槽工序的角向定位基准(一个孔是角向定位基准,其余五个孔用以通过夹紧件),所以钻孔工序应安排在拉槽工序之前进行加工。

9. 工序 60, 65

工序 60 是试验工序。用以检验新拉刀或拉刀重磨后的准确度。所以,本工序只在上述两种情况下进行。

工序 65 是拉槽工序。

拉槽,采用一个工序加工。由于余量较大,所以通常用几把拉刀来进行加工(铝合金盘一般用两把拉刀,钛合金与合金钢盘用 $3 \sim 4$ 把拉刀)。采用一个工序进行加工,一方面可只用一个拉槽夹具,另一方面,由于是一次安装,可使精拉刀的余量均匀,改善了加工条件,有利于提高加工质量。

由于余量大,开槽时的切削力也较大,为了保证槽的尺寸 W 的精度要求(宽度公差为: ± 0.03 , 一槽内保持 W 尺寸相差不大于 0.015),一般先进行开槽,然后再用精拉刀进行成型。

10. 工序 70, 75

这是两个钳工工序。

工序 70 是去槽边的毛刺,以便于以后定位准确和操作安全。

工序 75 是钻小孔(K 面上小孔:锁片用,F1 面上小孔:阳极化用),K 面上的小孔是以榫槽为设计基准的,为了避免尺寸换算,有必要安排在拉槽后加工,又因为这些小孔加工时对其他表面的精度影响不大,所以有可能安排在拉槽后加工,F1 表面上两小孔也集中于这一工序加工。

11. 工序 80,85

这两个工序是精加工工序。

因为表面 A,A1 和 F,F1 的要求较高,在拉槽后这些表面有一定的变形(A 及 F 的变形达 0.05),所以,需要在精加工阶段进行精车。

因 A1 处的余量较大(因为要切除用以夹紧的辅助基准),所以工序 80 先进行加工 A1,加工时也分两步进行,先将大部分的余量切除,然后最终对 A,A1 再加工一次。

在工序 85 中,由于轴向夹紧环带已经切除,而且在加工 F,F1 时还要加工锁片槽,因此本工序只能采用 C 面夹紧。由于本工序的余量不大,因而对加工精度不会有多大的影响。

12. 工序 90,95,100

工序 90 是钳工去毛刺。

工序 95 是最终检验。

工序 100 是表面保护,采用阳极化。铝合金在阳极化以后,还可以对表面层的裂纹、发纹和夹杂等作检查。

九、工序尺寸的计算

压气机盘的表面本身尺寸,在选定加工余量以后,就可定出各工序的尺寸。表面本身尺寸的公差,对于最终工序来说,一般均按零件图的要求来标注,对于中间工序,则可按经济加工精度来确定。

当根据经济加工精度来确定工序的公差时,还需要结合具体情况,考虑其他因素的影响。如对于定位基准表面,有时在粗、细加工阶段就要求有很高的精度,以保证定位的准确与可靠。另外,工序公差要影响加工工序的余量变化,因此,在确定工序的本身尺寸公差时,要进行具体分析。

关于盘的轴向尺寸,由于主设计基准要在最后加工而造成多尺寸保证问题,所以需要进行换算。

现将几个主要尺寸分析如下:

从加工过程来看,工序 85 加工 F 面,原始基准是 A,所以设计尺寸 103.5 ± 0.1 ,可由工序 85 直接保证。在工序 80 中,加工表面 A,原始基准为 D,原始基准也与设计基准重合,所以尺寸 $46 - 0.17$ 由工序 80 直接保证。

尺寸 18.6 ± 0.1 、 78.4 ± 0.1 均为间接保证,需要进行工艺换算。

压气机盘的尺寸图表(部分)如图 8-6 所示。

1. 关于尺寸 18.6 ± 0.1

设计尺寸 18.6 ± 0.1 的工艺组成环是②,③和④,其中②,③是增环,④是减环,如图 8-7 所示。

由尺寸链方程知:

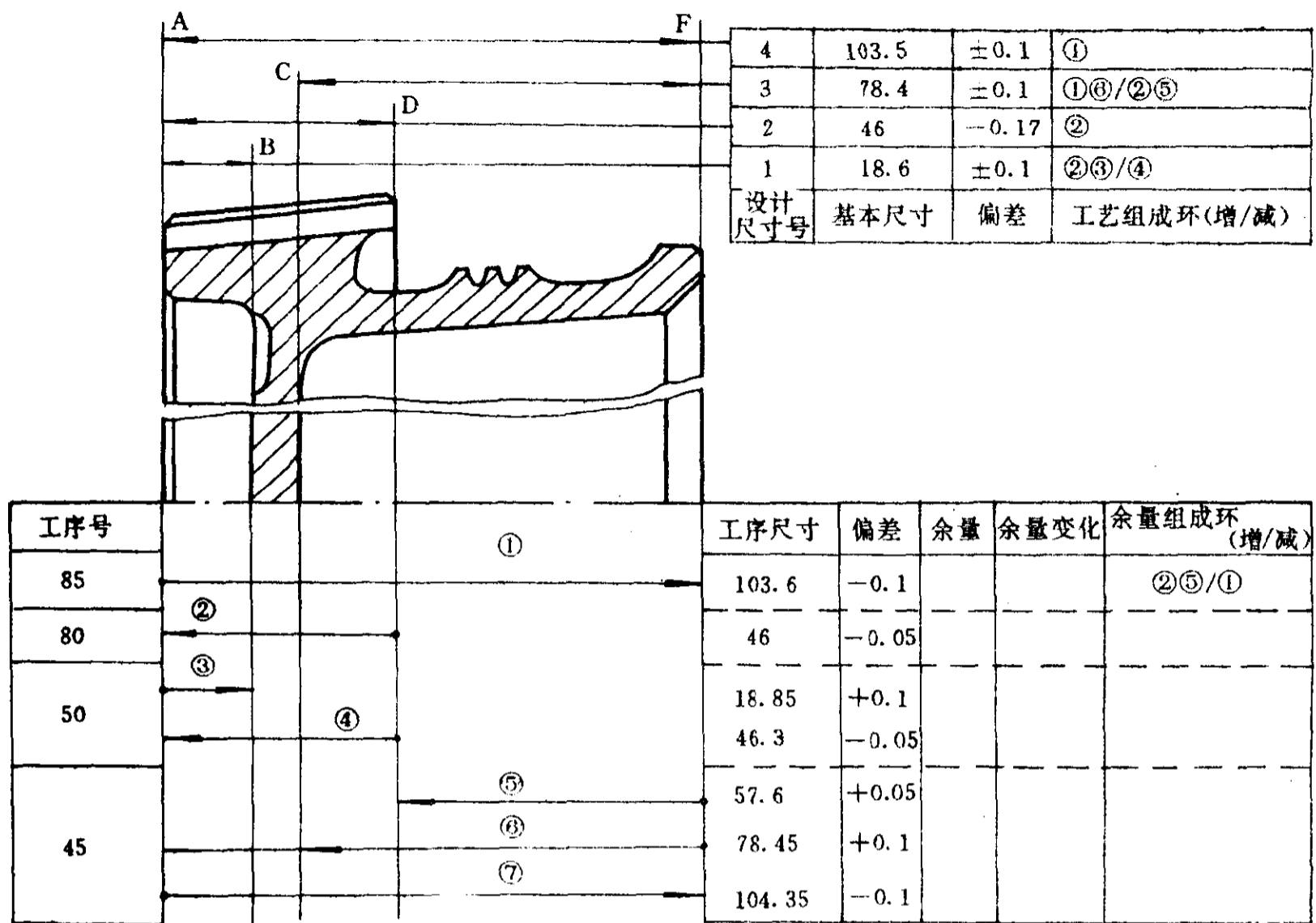


图 8-6 压气机盘的尺寸图表

$$F = \sum_{i=1}^m \bar{H}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} \bar{H}_j$$

$$= 46 + 18.85 - 46.3 = 18.55$$

$$\Delta f_s = \sum_{i=1}^m \Delta \bar{h}_{is} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \bar{h}_{jx} = 0.1 + 0 - (-0.05) = +0.15$$

$$\Delta f_x = \sum_{i=1}^m \Delta \bar{h}_{ix} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \bar{h}_{js} = -0.05 + 0 - 0 = -0.05$$

即： $18.55 \begin{smallmatrix} +0.15 \\ -0.05 \end{smallmatrix} = 18.6 \pm 0.1$

所以，零件图的尺寸能够保证。

工序尺寸②，③，④的公差都比较小，这是因为封闭环的公差只有0.2，所以，这三个组成环尺寸公差之和不能超过0.2，尺寸③在加工腹板时较为困难，所以尺寸②，③，④的公差分配为：0.05, 0.10, 0.05。

2. 关于尺寸 78.4 ± 0.1

设计尺寸 78.4 ± 0.1 的工艺组成环是尺寸①，②，⑤和⑥，其中工序尺寸①，⑥为增环，②，⑤为减环，其尺寸链如图 8-8 所示。

(1) 组成环所间接保证的尺寸及偏差的计算

由工序尺寸①，②，⑤，⑥加工后所间接保证的尺寸为：

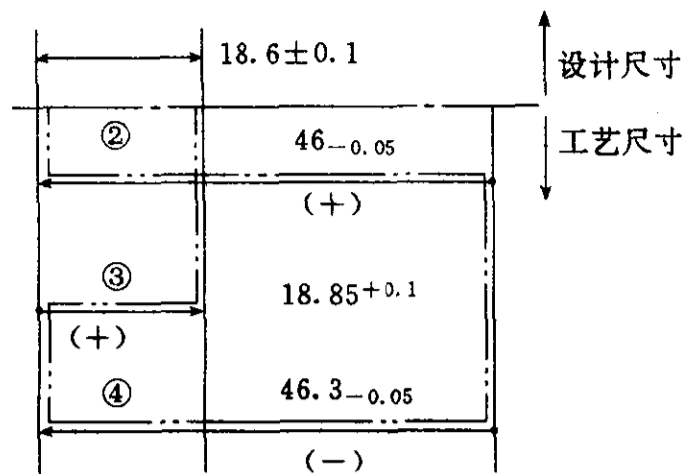


图 8-7 尺寸 18.6 ± 0.1 的尺寸链

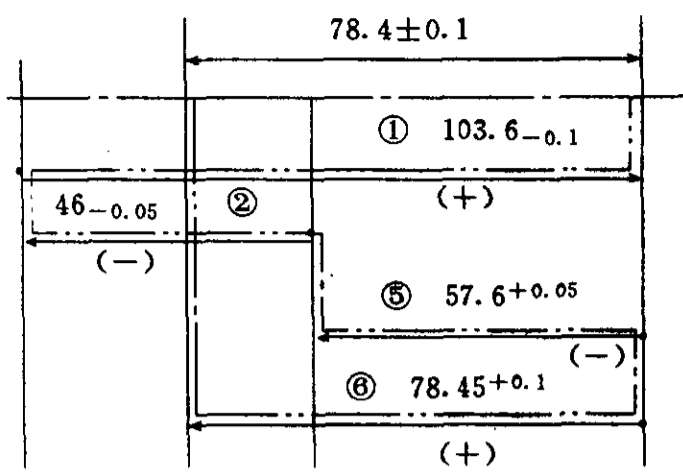


图 8-8 尺寸 78.4 ± 0.1 的尺寸链

$$F = \sum_{i=1}^m \bar{H}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} \bar{H}_j = 103.6 + 78.45 - 57.6 - 46 = 78.45$$

$$\Delta f_s = \sum_{i=1}^m \Delta \bar{h}_{is} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \bar{h}_{js} = (0 + 0.1) - (-0.05 + 0) = +0.15$$

$$\Delta f_x = \sum_{i=1}^m \Delta \bar{h}_{ix} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \Delta \bar{h}_{jx} = (-0.1 + 0) - (0 + 0.05) = -0.15$$

即加工后的尺寸为： 78.45 ± 0.15 。

上式说明，不能保证零件图的尺寸要求。加工过程中主要是通过控制工序尺寸①的余量变化来实现的，具体情况如下。

(2) 工序 85 工序加工余量的验算

在工序 85 中，①尺寸的加工余量 Z_1 的尺寸链，如图 8-9 所示。

在该尺寸链中， Z_1 为封闭环，工序尺寸①为减环，②，⑤为增环。由尺寸链的方程可得：

$$Z_1 = 46 + 57.6 - 103.6 = 0$$

$$\Delta Z_{1s} = 0.05 + 0 - (-0.1) = +0.15$$

$$\Delta Z_{1x} = 0 - 0.05 - 0 = -0.05$$

所以，工序尺寸①的加工余量为： $0_{-0.05}^{+0.015}$ 。

由于在工序 45 中，工序尺寸⑤的最小值为 57.6，在工序 80 中，工序尺寸②的最小值为 45.95，所以，在工序 85 前压气机盘的轴向尺寸的最小值为 103.55，比工序尺寸的最大值来得小，因此，若在定距加工时，就可能产生无法加工的现象。今压气机盘采用试削法加工，若盘的轴向尺寸在加工前做到最小值 103.55，则可将工序 85 的尺寸加工到 103.5 (工序尺寸 $103.6_{-0.1}$ 的下差)，此时还可以有余量 (0.05) 供本工序加工。

这种方法，在工艺上称之为“借公差作余量”。

由于表面 F 在工序 85 以前有变形 (据实践统计，端面变形量为 0.05)，所以规定工序 85 最少必须切除 0.05 的余量。因此，工序 85 实际上切除的余量为 0.05~0.15，所以，余量的实际变化量为 0.1，即余量应为 $0_{+0.05}^{+0.15}$ 。

(3) 复校尺寸 78.4 ± 0.1

由于尺寸①，②，⑤最终反映为 $0_{+0.05}^{+0.15}$ ，所以尺寸①，②，⑤，⑥加工后所间接保证的尺寸如图 8-10 所示。

$$F = 78.45 - 0 = 78.45$$

$$\Delta f_s = +0.1 - 0.05 = +0.05$$

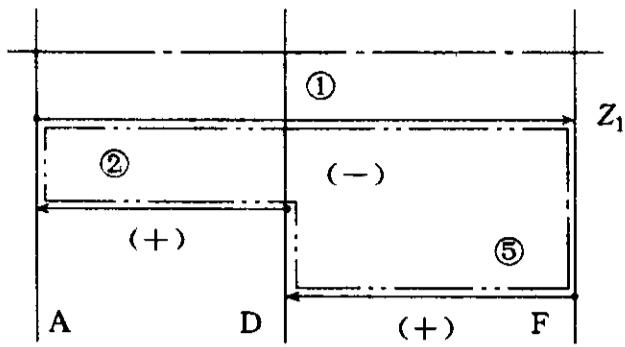


图8-9 加工余量 Z_1 的尺寸链

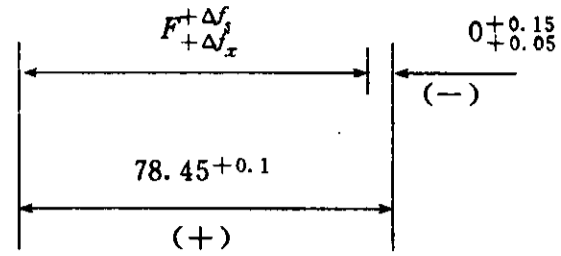


图8-10 尺寸 78.4 ± 0.1 的复校计算

$$\Delta f_x = 0 - 0.15 = -0.15$$

所以

$$F_{+\Delta f_x}^{+\Delta f_x} = 78.45_{-0.15}^{+0.05} = 78.4 \pm 0.1。$$

从上式说明，零件图所要求的尺寸 78.4 ± 0.1 完全能够保证。

若确定工序 85 的基本余量时不采用零值，亦即将尺寸⑤加大，则加工后尺寸 78.4 ± 0.1 有可能要超差。此时，为了保证 78.4 ± 0.1 的要求，必须使尺寸①，②，⑤，⑥的公差之和不超过 ± 0.1 ，这样，势必将尺寸①，⑥的公差也要压缩到 0.05 。所以会大大增加加工困难，并使成本增加。

采用这种方法来设计试削法时的工艺尺寸系统，要求本工序有足够大的公差而且余量小。另外，对操作者的要求也较高。

3. 关于尺寸 $57.6^{+0.05}$ 的原始基准选择

在工序 45 中加工表面 D 时，原始基准可以选择 A 面或 F 面，因为中间工序原始基准会影响有关尺寸链组成环环节的多少，所以必须对几种方案进行分析比较。

在选择 A 或 F 面作为原始基准的两种方案中，尺寸链的组成不同，环节多少也不同，尺寸链如图 8-11 所示。

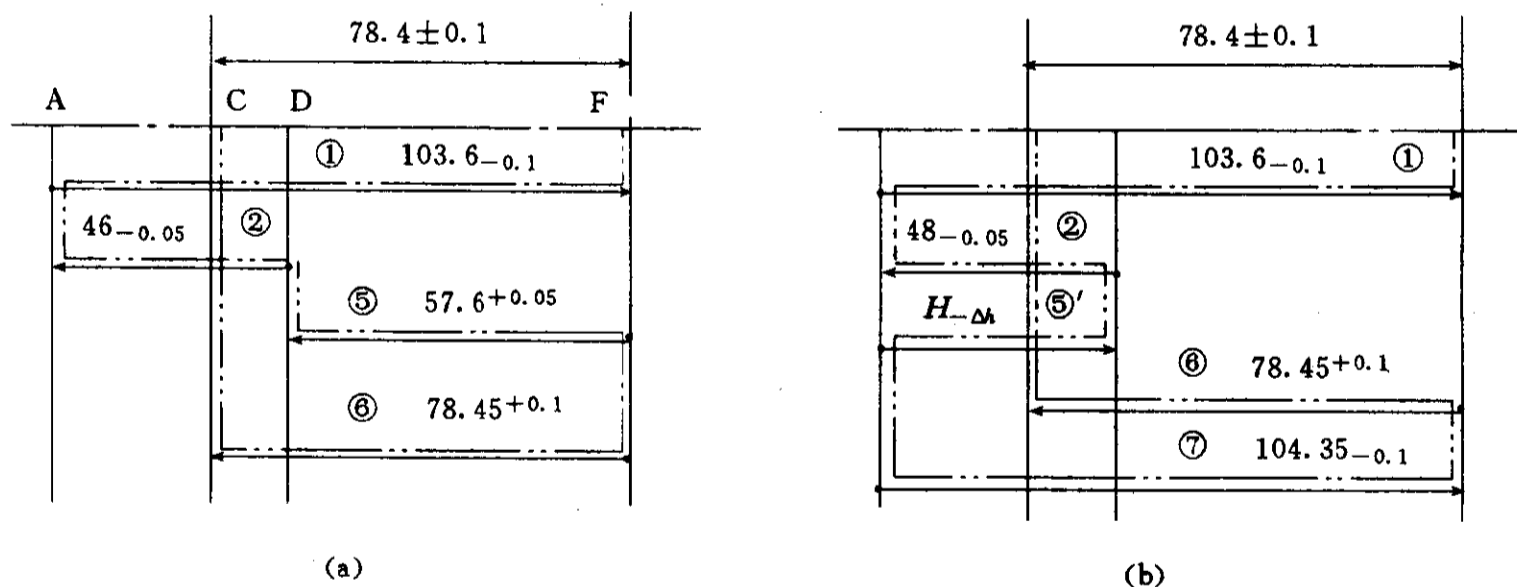


图 8-11 工序 45 原始基准选择

方案一(图 8-11(a))

采用 F 面作原始基准，则在保证 78.4 ± 0.1 时，其尺寸链为：尺寸①，②，⑤和⑥，共四个组成环。

方案二(图 8-11(b))

采用 A 面作原始基准，其原始尺寸为⑤' ($H_{-\Delta}$)，则在保证尺寸 78.4 ± 0.1 时，其尺寸链为：①，②，⑤'，⑥和⑦，共五个组成环。因此，若采用方案二的尺寸标注法时，各组成环的公差

要进一步压缩,这将增加加工困难和成本。

最后,必须指出,压气机盘的轴向尺寸系统的设计,是以试削法为前提的。采用了“余量借公差”的办法。这种方法会有一定的经济效果。

但是,当尺寸都趋于极限值时,就要求操作者有较高技术,能比较准确地切除余量,这在设计时应该注意。

§ 8-3 主要工序的进行方法

一、车削加工

车削加工在制造盘的总劳动量中占很大的比重。粗加工时,多在立式车床或花盘车床上进行。工件以外圆或便于安装的环面定位,采用径向夹紧。由于粗加工时要切除大部分的余量,并且涡轮盘零件常采用加工性较差的高温合金材料,因此,粗车的主要任务是提高生产率。一般选择较大的切削深度和进给量,而采用较低的切削速度来保证一定的刀具耐用度。

细车和精车多在花盘车床上进行。工件的定位基准一般是端面和配合环面,但常采用校正的方法来保证较高的定位精度。该阶段工件的刚度较低,主要问题是减小工件的受力变形。一般采用轴向夹紧减小工件的夹紧变形,车削过程中常通过多次走刀来减小切削力和切削力的变化。

腹板型面主要由车削加工来完成。粗加工及细加工基本都在普通机床上进行。在精加工时,由于盘类零件的腹板一般较薄,尤其是压气机盘,有的腹板最薄处厚度仅 1.13mm,刚度差,加工时因切削力的关系,变形很大,不易控制壁厚和型面尺寸,腹板两面的对称性也差。目前工厂常采用的方法是数控车和双面车。

数控车:数控加工精度高,型面准确,生产效率高,并且在加工过程中切削参数能够按照加工的需要不断变化,逐渐去除余量,零件残余应力和切削变形较小,是加工复杂薄壁盘类零件的有效方法。

盘类零件每一端型面的数控加工都是由多把刀分段进行的。图 8-12 给出了某涡轮盘腹板型面数控加工的示意图,整个型面分八段,由六把刀一次完成加工。

双面车:采用双面车同步仿型加工零件时,因为用两把仿型车刀从腹板的两个侧面同时进行同步仿型车削。在加工中,两端的切削抗力就互相抵消,避免了振动和波纹的产生,可以保证零件的加工质量。

图 8-13 所示是采用中间传动双面同时车削的专用机床加工腹板及配合表面的示意图。加工时以盘的外圆和端面定位夹紧。车刀装在带有液压靠模装置的刀架上,同时从盘的两面切削。腹板在整个直径长度上分成两段来车削,这样可以车出曲率变化大的型面,如凸台及转接圆弧等,当加工时刀具越过中心后,机床主轴即自动反转。

机床的主轴转速随刀具向中心送进而变化,使切削线速度保持恒定,以保证良好的加工表面质量。

二、拉削加工

涡轮盘和压气机盘上的榫槽,数量多、精度要求高且形状复杂,因此榫槽的加工是盘类零

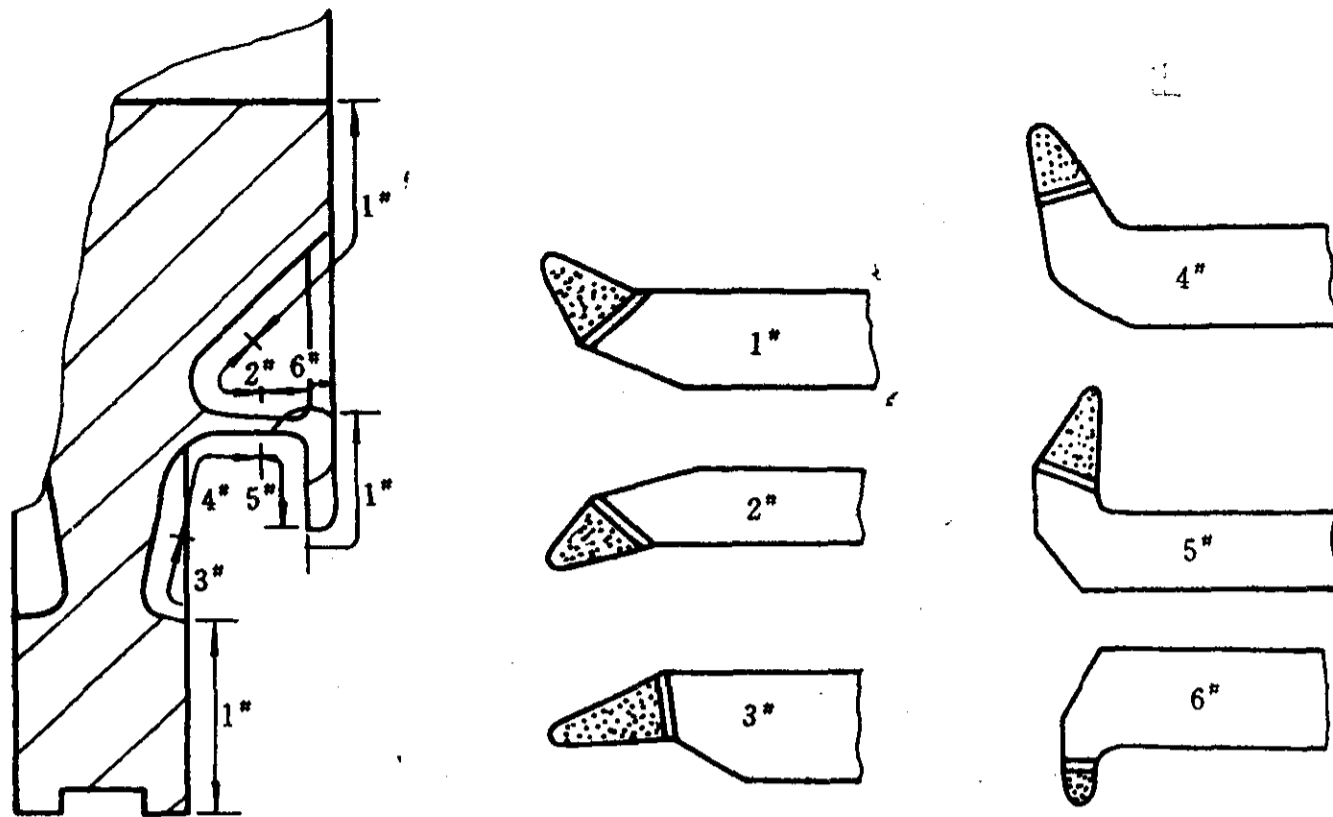


图 8-12 腹板型面数控加工示意图

件的关键工序之一。目前榫槽的加工方法主要是拉削(图 8-14)和数控铣,其中尤以高速拉削在工厂的应用最为普遍。

榫槽的高速拉削:所谓高速拉削,一般指用高于 $15\sim 20\text{m/min}$ 的拉削速度进行拉削。目前工厂主要用专用的卧式高速拉床进行侧面拉削,工件装在具有自动分度功能的夹具上。榫槽的形状是由多把粗拉刀开槽、粗拉槽形以及多把精拉刀精拉槽形完成的。在一次拉削过程中完成榫槽的粗、细、精加工。

图 8-15 是燕尾形榫槽,在拉削时的拉刀排列与拉削余量的分布。

§ 8-4 盘的检验

在检验盘类零件时,复杂的是一些理论点尺寸的检验和榫槽尺寸的检验。

盘上的理论点尺寸,一般采用专门设计的测具进行检验。如图 8-16 所示是一种桥式测具,用来检验腹板上的理论点尺寸。

工件以端面和中心孔为基准,在测具上定位,在测具的固定位置上安排了一些测量杆,在理想状态下,各测量杆端头都接触工件表面后,各测量杆尾端应平齐——都与测具标准块顶部端面保持同一平面上,各点的误差通过带表架的千分表测量,千分表按标准块调整。

随着测量技术的发展,用三坐标测量机,检验这些理论点的尺寸,会更加准确和方便。

榫槽检验:榫槽槽形的相对位置尺寸的测量,均通过一专用塞入式量规(俗称转接器或定位器),将其塞入槽中并与榫槽工作面相配合、定位并夹紧,然后在检验夹具上,间接测量转接器上的各种数值,得出榫槽的检验结果,常用的测量方法如图 8-17 所示。带有百分表和千分表的仪器均需按标准件调整。图 8-18 是适合各种榫槽的塞入式量规。但是即使应用上述这些方法,还不能测量出槽的所有各部分的形状和尺寸,因此在每次加工工件前用拉刀先拉出一个样件,将样件放在投影仪上来检验型面是否合格。

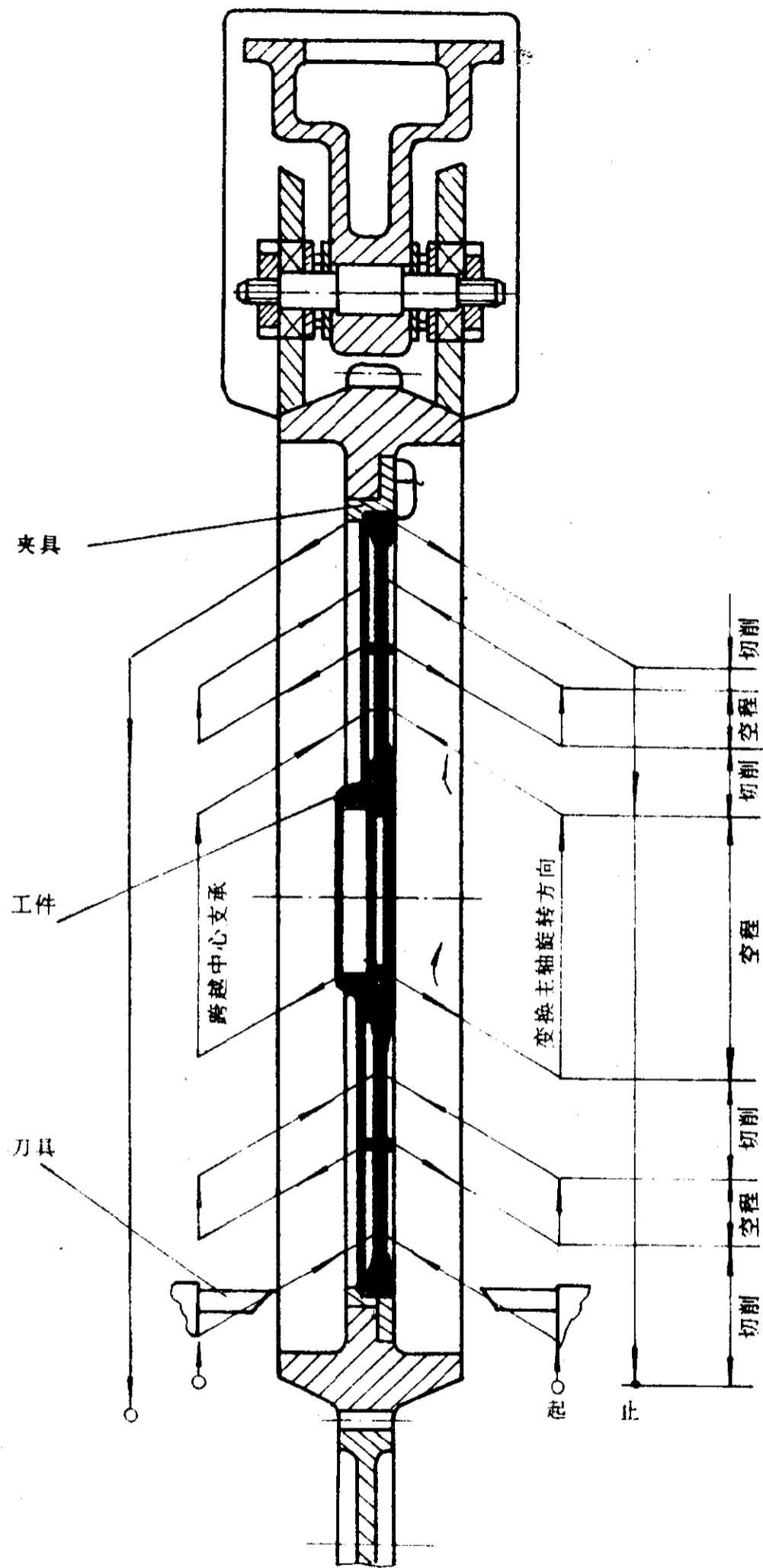


图 8-13 双面车削盘示意图

枞树形榫槽间距的检验如图 8-19 所示。

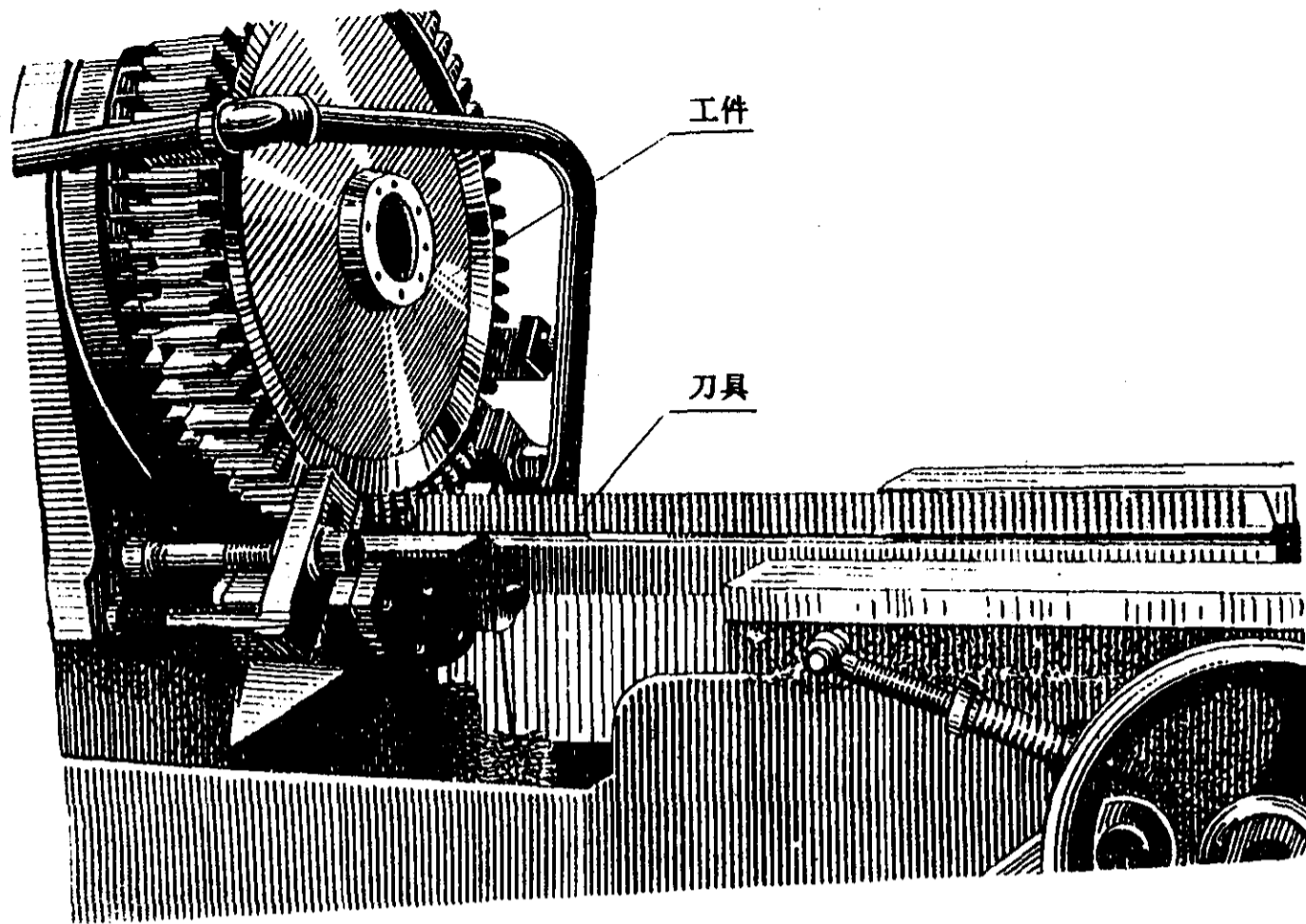


图 8-14 棒槽拉削示意图

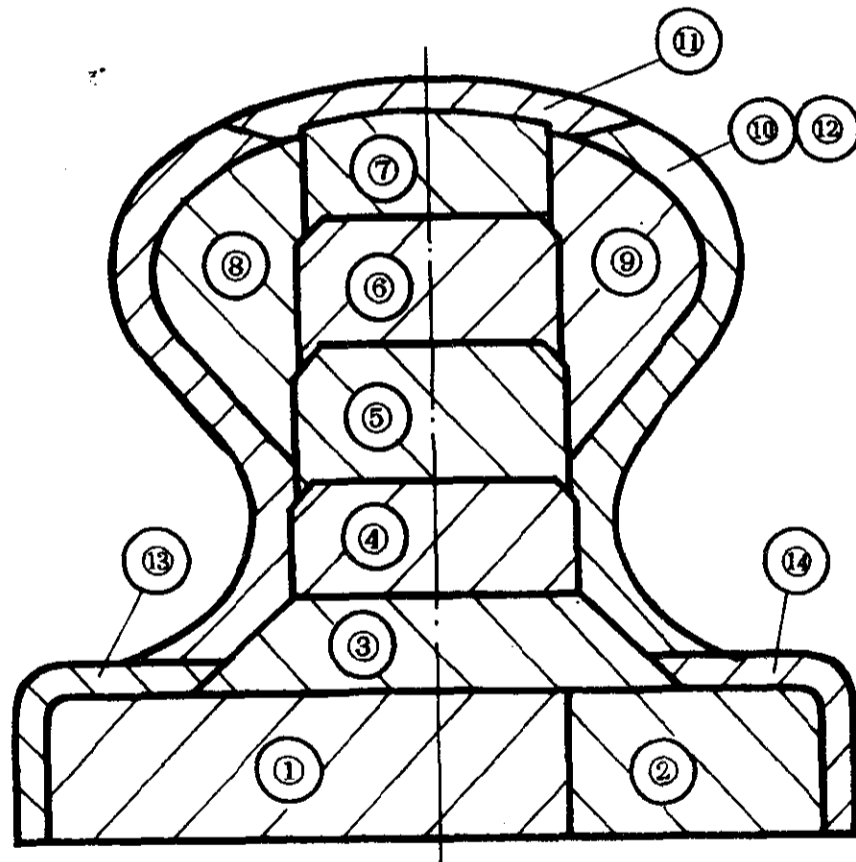


图 8-15 拉刀排列与拉削余量的分布

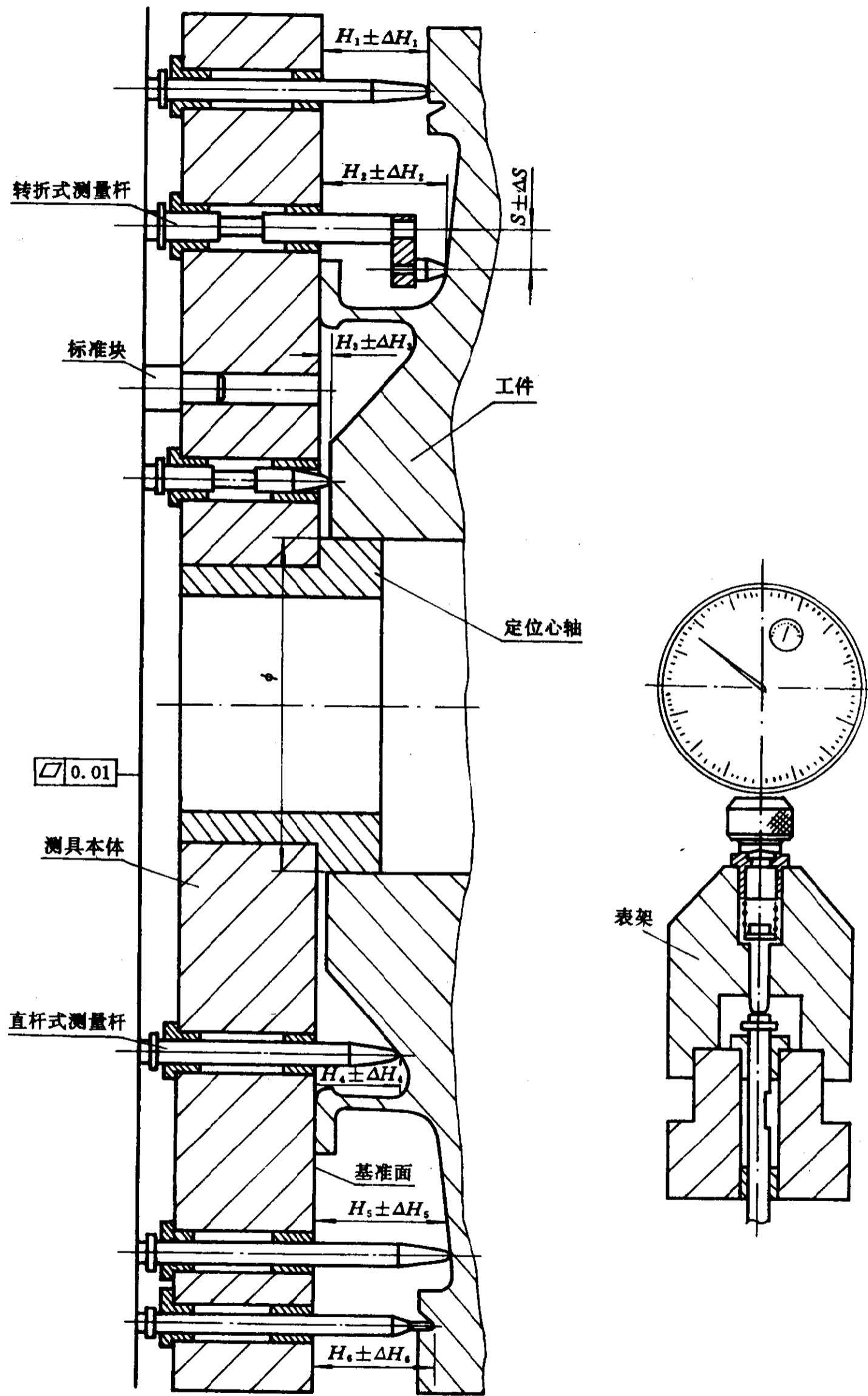
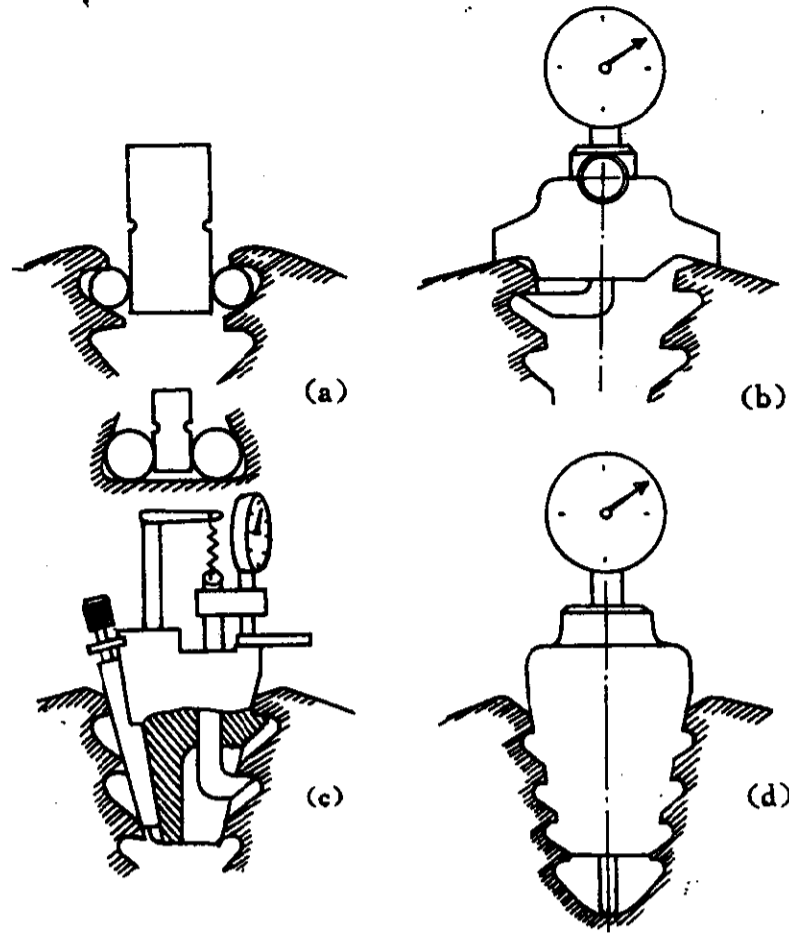
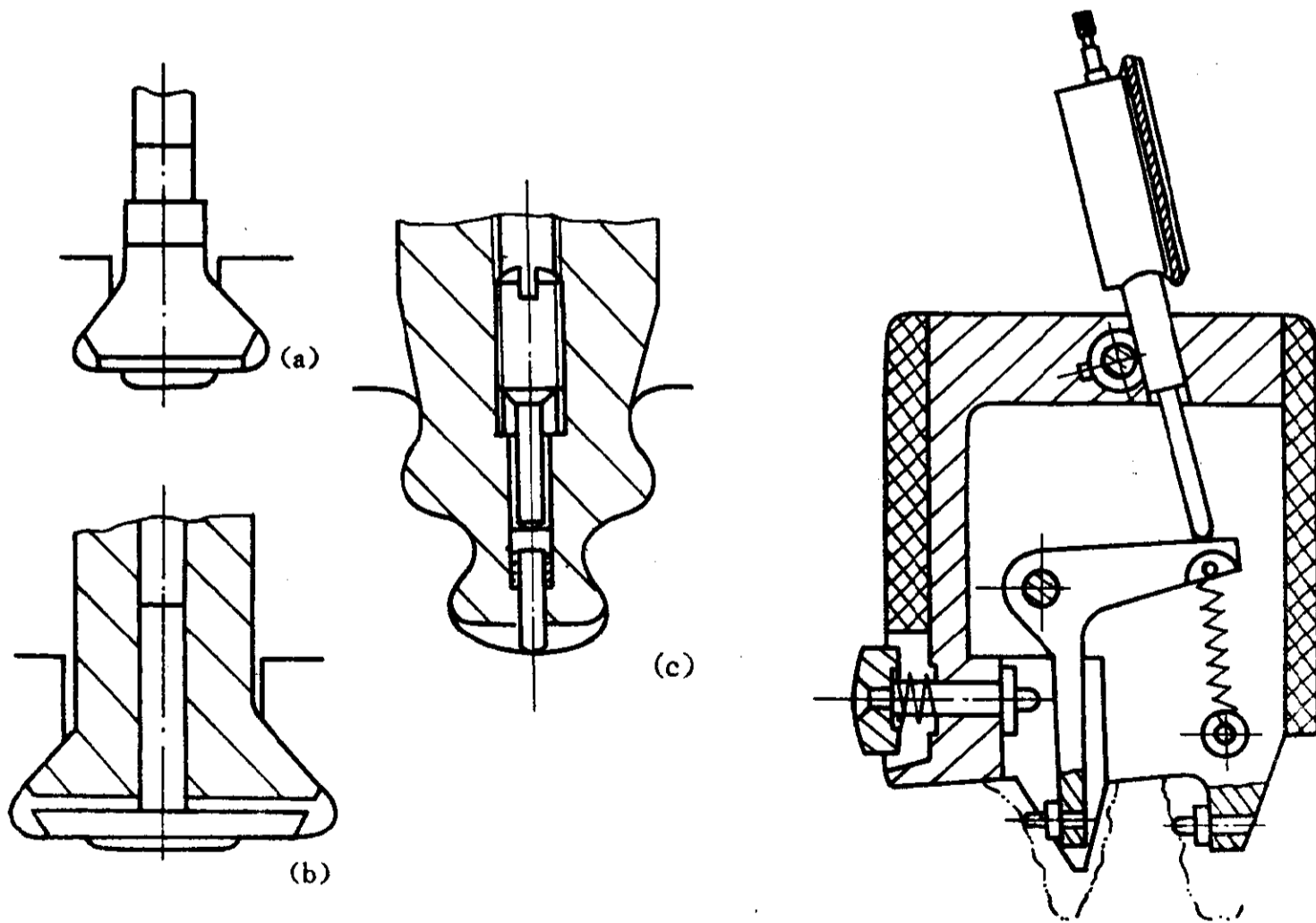


图 8-16 桥式测具



(a) 用滚柱检验槽宽 (b) 检验至各隔条的尺寸 (c) 检验隔条间的齿距 (d) 检验槽深

图 8-17 榫槽尺寸的检验



(a) 塞片式 (b) 顶杆式 (c) 顶丝式

图 8-18 转移器

图 8-19 枞树形榫槽槽间距的检验

第九章 梁类零件加工

§ 9-1 构造、技术条件与材料

一、构造

在飞机的整体结构中,整体梁已获得普遍的应用。

由于飞机的性能不断提高,对梁类零件的要求也越来越高。梁类零件为整体结构的主要承力件,既要提高其强度及刚度,又要减轻其重量。因此,梁类零件的外形,在构形上就十分复杂。

梁类零件的结构特点为:

(1) 从截面的构形看,有工字形、U 字形、工字形和 U 字形的组合,以及更为复杂的异型截面。

(2) 为了获得最大的抗弯能力,减轻结构的重量,以提高强度重量比,梁的外形轮廓,不仅具有曲度而且具有变斜角。

(3) 梁类零件上有配合槽口以及重要的结合孔等。

(4) 轮廓外形尺寸较大,而剖面的尺寸则较小,亦即零件的刚度相对较小,在加工时应注意变形问题。

(5) 外形、内形套合面与结合孔之间有较为严格的位置精度要求,以保证零件的互换与协调。

由于梁类零件的上述结构特点,尤其是外形复杂和尺寸大,对加工带来较大的困难。为此,常采用多坐标数控加工,以保证其位置精度的要求。

梁类零件的典型结构如图 9-1 所示。

二、技术条件与材料

梁的加工精度可用下列数据表示。

(1) 表面的加工精度

交点孔的尺寸精度为 IT6;

槽口的尺寸精度为 IT9;

耳片结合孔的尺寸精度为 IT11;

外形的尺寸公差为 0.3mm;

缘条的尺寸公差为 0.5mm;

腹板的尺寸公差为 0.7mm;

纵、横向的直线度为 0.5~1.5mm。

(2) 表面间的位置精度

交点孔的位置精度为 0.1~0.2mm;

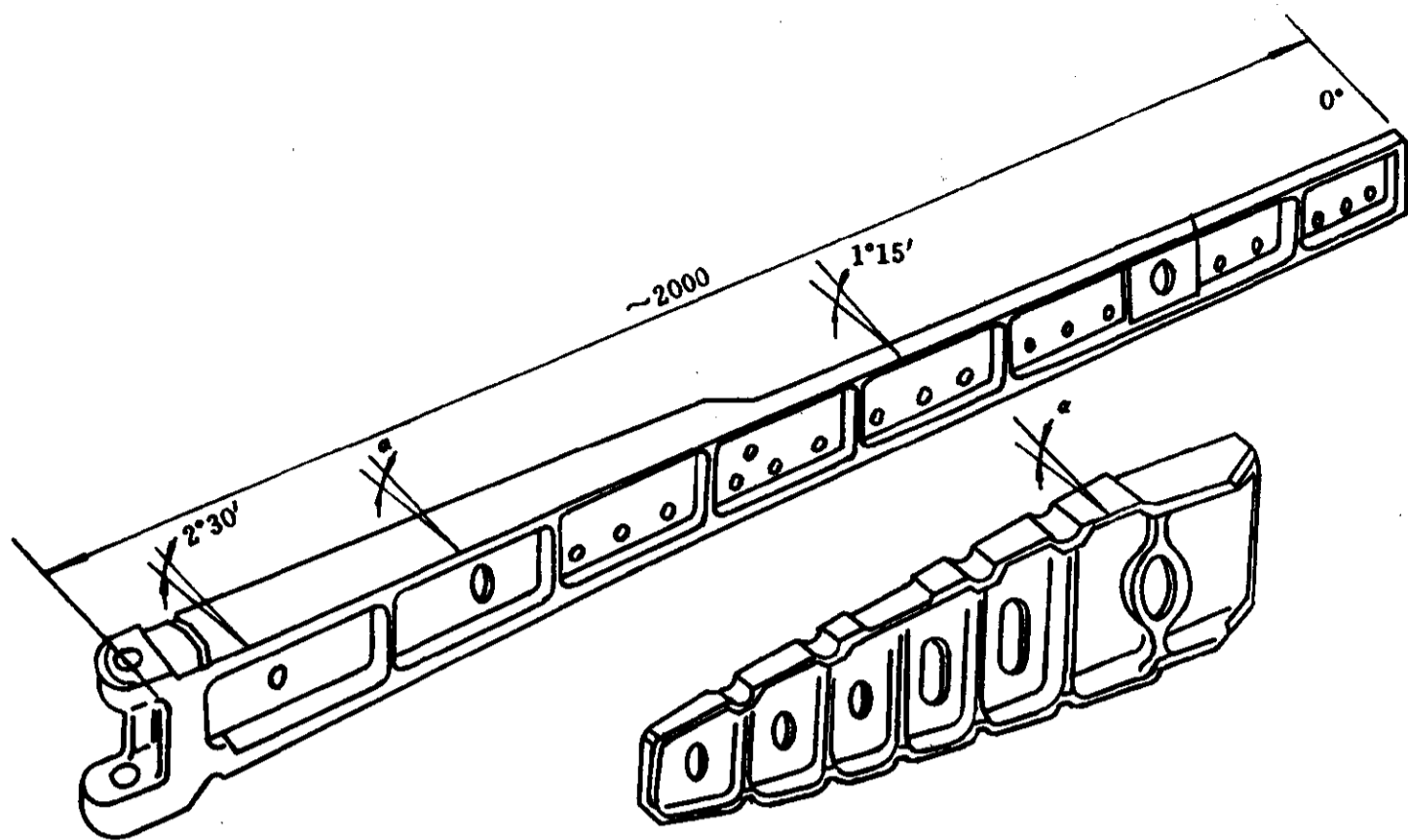


图 9-1 整体梁零件图

槽口的位置精度为 0.3~0.6mm;

外形的位置精度为 0.3mm;

缘条的位置精度为 0.3mm;

腹板的位置精度为 1~2mm;

(3) 表面的粗糙度

交点孔的粗糙度为 $R_a 1.6$;

槽口的粗糙度为 $R_a 1.6$;

耳片结合孔的粗糙度为 $R_a 1.6$;

外形的粗糙度为 $R_a 3.2$;

缘条的粗糙度为 $R_a 3.2$;

腹板的粗糙度为 $R_a 3.2$ 。

大部分梁类零件的常用材料有高强度的合金结构钢 30CrMnSiA、30CrMnSiNi2A, 铝合金 LY12、LC4, 以及钛合金 TC4 等。

§ 9-2 梁的工艺路线的制订

梁的毛坯一般常采用模锻件。铝合金零件也有的采用预拉伸板材。由于梁的尺寸较大, 所以余量不能太小。

毛坯供应时应进行热处理。

合金结构钢的热处理一般采用淬火(870~900℃油淬)和回火(300~570℃), 其机械性能为: $\sigma_b = 1000 \sim 1600 \text{ MPa}$, $\delta = 9\% \sim 10\%$, $\text{HB} = 302 \sim 444$ 。

铝合金毛坯的热处理一般均用淬火、时效, 其机械性能为: $\sigma_b = 390 \sim 566 \text{ MPa}$, $\delta = 6\% \sim 8\%$, $\text{HB} = 100 \sim 140$ 。

钛合金的热处理为退火状态, 其常温的机械性能为: $\sigma_b = 895 \sim 910 \text{ MPa}$, $\delta = 8\% \sim 12\%$, 在

400℃时,其 $\sigma_b = 590 \sim 620 \text{MPa}$ 。

梁的机械加工,因毛坯余量较大,常划分阶段进行加工。

粗加工阶段,主要是加工出定位基准面与孔,并去除槽口、内外形、腹板等大部分余量。

细加工阶段,主要对内外形、槽口等表面进行加工,以提高其精度。

精加工阶段,则对交点孔、槽口、结合面和结合孔等进行最后加工,并进行钳工修整,以达到装配的要求。

由于梁的尺寸较大、安装困难,所以常采用集中原则进行加工。

工艺基准常采用设计基准的基准面及翼弦的工艺孔作基准。

热处理工序的目的,是达到机械性能、改善加工性和消除内应力。

预热处理一般是为了改善毛坯的加工性,常安排在工艺过程的开始时进行。最终热处理是达到零件机械性能的,一般安排在粗加工阶段后或细加工阶段中进行。对于消除应力、稳定组织的热处理,一般安排在工艺过程稍后的阶段进行。

对于铝合金零件,则在机械加工前进行最终热处理,因为铝合金在硬度较高时便于加工。

梁的主要表面的加工方案如下。

(1) 内、外形加工

内、外形加工常用粗铣、细铣和精铣来加工。当精度及表面粗糙度要求较低时,可采用粗铣和细铣加工。

(2) 交点孔加工

交点孔采用钻、扩、粗铰和精铰的方案加工,一般可达到IT7~IT8, R_a 可达0.8~1.6。零件为铝合金时,也可采用钻、扩和精镗的方案进行加工。

(3) 结合孔加工

结合孔一般采用钻、扩、粗铰和精铰的方案加工。或采用钻、粗铰和精铰的方案。当要求较低时,也可以用钻、铰的方案加工。

(4) 槽口加工

对于钢件或铝合金件的梁类零件,均可采用粗铣、细铣和精铣的方案加工。有时,钢件也可采用粗铣、细铣和磨削的方案加工,其精度可达到IT6~IT8, R_a 可达0.8~1.6左右。

梁的工艺路线大致如下:

- (1) 预热处理;
- (2) 粗加工定位基准面及定位孔;
- (3) 粗铣外形;
- (4) 粗铣内形;
- (5) 粗铣尾部外形;
- (6) 粗铣尾部斜面;
- (7) 粗铣尾部内形;
- (8) 粗铣槽口;
- (9) 粗铣头部外形;
- (10) 粗铣交点孔端面;
- (11) 粗钻结合孔;
- (12) 粗钻交点孔;

- (13) 中间检验;
- (14) 热处理;
- (15) 细铣基准面及定位孔;
- (16) 细铣外形;
- (17) 细铣内形;
- (18) 细铣头部外、内形;
- (19) 细铣尾部外、内形;
- (20) 细铣缘条外形;
- (21) 钻缘条孔;
- (22) 精加工交点孔端面及交点孔;
- (23) 精铣槽口;
- (24) 精铣尾部斜面;
- (25) 扩、铰头部结合孔;
- (26) 打磨修整;
- (27) 总检;
- (28) 表面处理。

§ 9-3 梁的主要工序的进行方法

1. 外形加工

梁具有曲线的外形,而且这曲线的外形还带有斜角。这类零件可以用专用的仿形机床进行加工。近年来,由于数控技术的发展,常采用多坐标数控铣床来加工这类零件。

由于梁类零件外形的曲率较小,多半采用4坐标数控铣床来进行加工。为了适应外形和斜角的变化,铣床应具有X,Y,Z和A轴4坐标联动的功能,其运动的方案如图9-2所示。

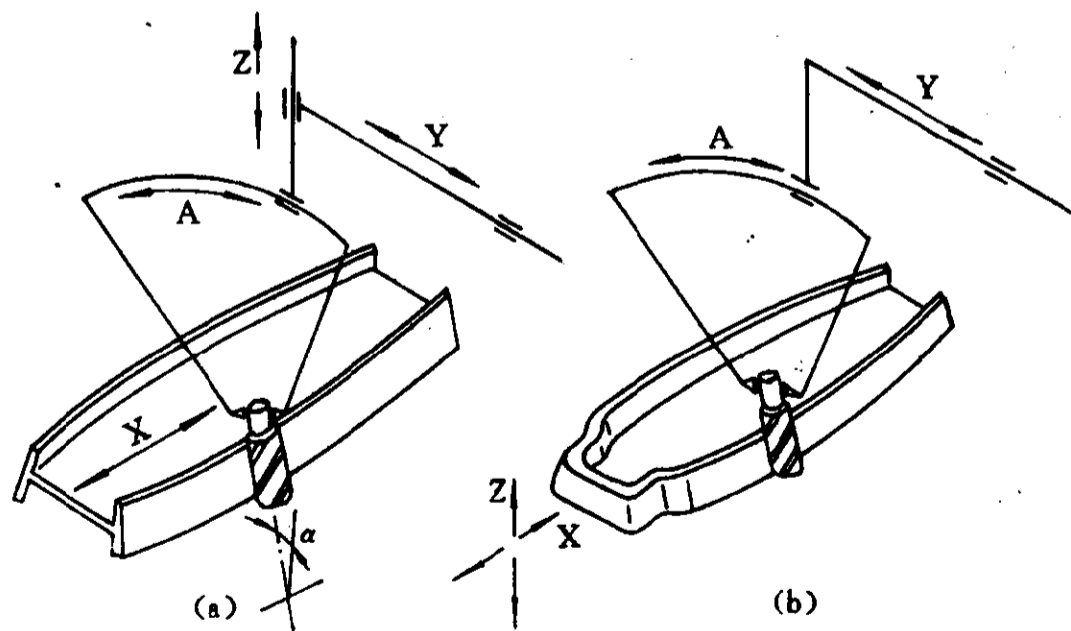


图 9-2 4坐标铣床运动方案

在图9-2中,(a)为龙门式数控铣床,而(b)为升降台式数控立铣床。

对于曲率变化剧烈的零件,则应采用具有X,Y,Z,A和C轴5坐标联动数控铣床,以达到

加工要求。

图 9-3 所示为 5 坐标数控铣床的运动方案图。

在加工梁的外形时,由于外形具有变斜角且曲率较小,所以用 4 坐标数控铣床加工外缘时,仅需 X, Y, A 3 轴联动,如图 9-4 所示为 3 轴联动方案。

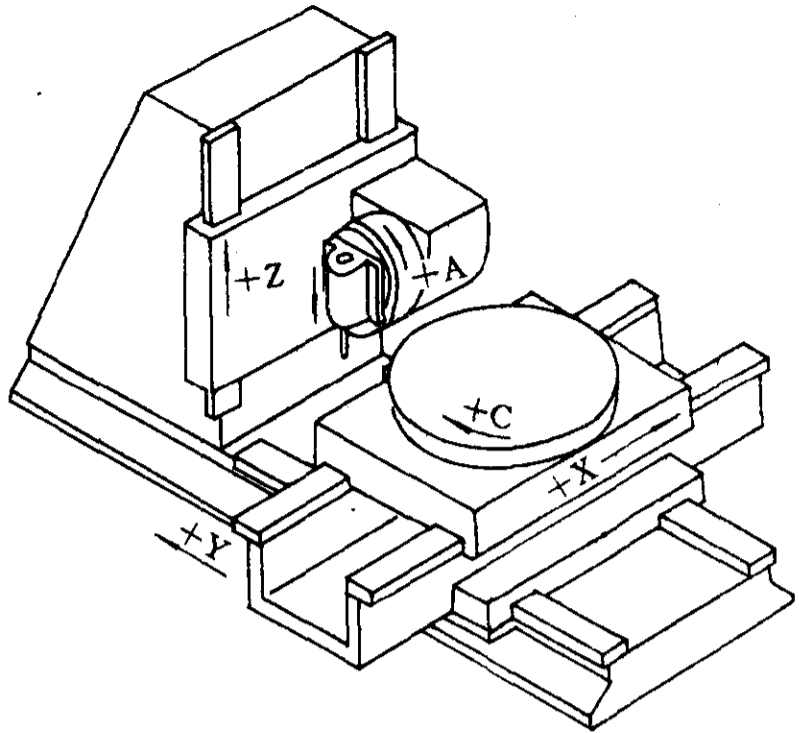


图 9-3 5 坐标数控铣床

设:

数据给出面为 A;

刀具转心与数据给出面 A 的 Z 向距离为 H。

则当由切面 I 加工至切面 II 时,刀具转心的

X 轴增量: $X = x_2 - x_1$

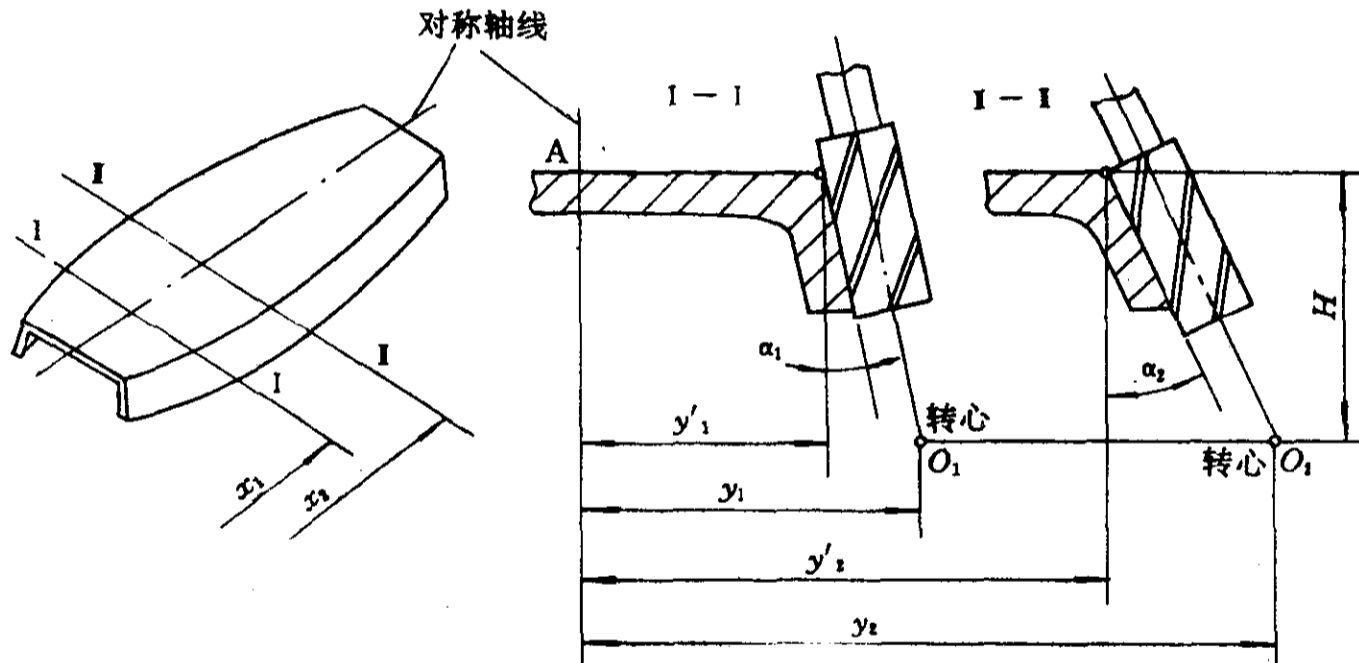


图 9-4 X, Y, A 轴 3 坐标联动

Y 轴增量: $Y = y_2 - y_1$

$$\begin{aligned}
 &= \left(y_2 + H \operatorname{tg} \alpha_2 + \frac{R}{\cos \alpha_2} \right) - \left(y_1 + H \operatorname{tg} \alpha_1 + \frac{R}{\cos \alpha_1} \right) \\
 &= (y_2 - y_1) + H(\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1) + \left(\frac{R}{\cos \alpha_2} - \frac{R}{\cos \alpha_1} \right)
 \end{aligned}$$

其中 $(y_2 - y_1)$ 一项是由外形本身变化所引起的,后两项则是因斜角变化所引起的 Y 方向的数值变化。

A 轴增量: $A = \alpha_2 - \alpha_1$

当加工内缘时,刀具端面应与底面接触,而当铣刀摆动后,铣刀有升降。或是离开底面,或是形成过切。所以为了始终保持刀具和底面接触,当刀具摆动时,必须有 Y, Z 轴的附加运动,形成 4 坐标联动,如图 9-5 所示为加工内缘的情况。

设:

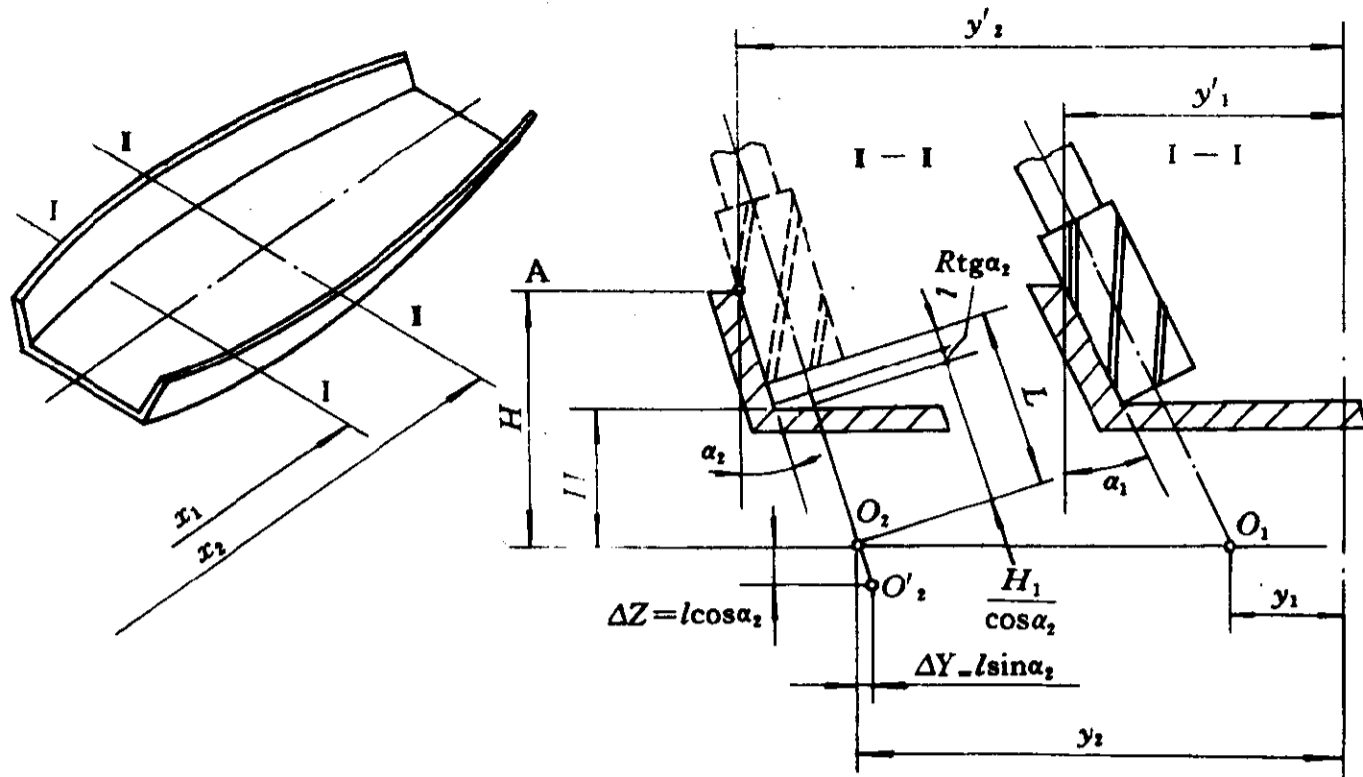


图 9-5 加工内缘的情况

数据给出面为 A;

刀具转心与数据给出面 A 的 Z 向距离为 H。

加工时,由切面 I 加工到切面 I 时,刀具转心的

X 轴的增量 $X = x_2 - x_1$

摆角的增量 $A = \alpha_1 - \alpha_2$

由外形及角度变化引起的 Y 轴增量

$$Y = y_2 - y_1$$

$$= (y'_2 - y'_1) - \left[R \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} - \frac{1}{\cos \alpha_1} \right) - H (\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1) \right]$$

式中 $(y'_2 - y'_1)$ 为数据给出面上外形变化量,第二项是由角度变化而引起的 Y 轴的增量。

但是,如果上述增量,因刀具在 I 切面的位置将如虚线所示,刀具端面将脱离底面。因此,为了加工底面,必须使刀具沿轴向移动一个距离 l ,即

$$l = L - (R \operatorname{tg} \alpha_2 + H_1 / \cos \alpha_2)$$

$$= (R \operatorname{tg} \alpha_1 + H_1 / \cos \alpha_1) - (R \operatorname{tg} \alpha_2 + H_1 / \cos \alpha_2)$$

$$= R (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) + H_1 (1 / \cos \alpha_1 - 1 / \cos \alpha_2)$$

为达到移动 l 的目的,可在 Y 轴和 Z 轴上附加移动一距离,即

$$\Delta Y = l \sin \alpha_2$$

$$\Delta Z = l \cos \alpha_2$$

因此,由 I 切面加工到 I 切面时,4 个坐标的增量分别为:

$$X = x_2 - x_1$$

$$Y = y_2 - y_1$$

$$Z = -l \cos \alpha_2$$

$$A = \alpha_2 - \alpha_1$$

2. 交点孔的加工

交点孔的本身精度要求较准确,而且位置精度也要求十分严格。

交点孔的本身精度一般为 IT6,粗糙度在 $R_a=1.6$ 左右,因此,常采用钻孔、扩孔和铰孔的加工方法来保证。而其位置精度一般在 $\pm 0.1\text{mm}$ 左右,所以常采用专用钻模或专用镗孔夹具来达到要求,有时,也可采用数控设备来保证其精度。

为了保证加工精度,常采用较好的切削工具,其材料一般可采用高钴类的高速钢,如 M42 等,也可采用高碳化钛添加钽、铌类硬质合金,如 YD20 等。

§ 9-4 梁的检验

梁的检验,常采用专用样板或专用检测夹具进行。

样板,是零件、组合件的制造依据和检验依据,是无刻度的专用量具。

样板有基本样板和生产样板之分。基本样板在工厂中只有一套,是工厂标准,用以制造和检验生产样板。

梁的外形、内形和尾部外形等均以样板来进行检验。而槽口、结合孔和交点孔等则常用专用检测夹具来进行检测。

近年来,为提高检测精度和效率,常采用 3 坐标测量机进行检测。

高精度的测量机常采用花岗岩作本体与导轨,其精度可达几个微米,并用气浮导轨,可使运动平稳。位置测量常用光栅,并用数显显示。高精度的光栅,其分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$ 。所以测量机能达到较高的精度。

由于测量机的自动化程度较高,因此可大大提高生产率。

附 录

附录一 工艺文件

附表 1-1 工艺路线卡

厂		工 艺 路 线 卡				产品型号		
						零件名称		
						零件号		
材 料		毛坯种类		每台件数		年产量		
工序号	工序名称	加工车间	设备名称	夹 具	刀 具	量 具	备 注	
			设 计			审 查		
			校 对			批 准		
更改单号	更改者	日 期						

附表 1-2 工序卡片

厂		工 序 卡 片		零件名称	零件号	产品号	第 页
车间							共 页
工序号	工 序 名 称			材 料	硬 度	设 备	

(工序图)

续附表 1-2

序号	工 步 内 容			夹 具	刀 具	量 具
			设计		日期	
			校对		日期	
更改单号	更改者	日期	批准		日期	

附录二 加工方法及经济加工精度

附表 2-1 加工方法与精度

加 工 方 法		精度等级 IT	粗糙度 $R_a/(\mu\text{m})$
车 削	粗 车	12~13	12.5~50
	细 车	10~11	1.6~6.3
	精 车	6~9	0.2~1.6
镗	粗 镗	12~13	6.3~12.5
	细 镗	9~11	1.6~3.2
	精 镗	6~8	0.2~0.8
钻 孔		11~13	3.2~50
扩 孔		10~11	1.6~12.5
铰 孔	粗 铰	8~9	1.6~3.2
	细 铰	7~8	0.8~1.6
	精 铰	6~7	0.2~0.8
铣 削	粗 铣	11~13	3.2~12.5
	细 铣	10~11	0.8~3.2
	精 铣	6~9	0.2~0.8
拉 削	细 拉	10~11	0.4~1.6
	精 拉	6~9	0.1~0.2

续附表 2-1

加工方法		精度等级 IT	粗糙度 $R_a/(\mu\text{m})$
磨削	粗磨	7~9	0.8~1.6
	细磨	6~8	0.2~0.4
	精磨	5~7	0.05~0.1
珩磨	细珩	6~7	0.2~0.8
	精珩	4~6	0.025~0.2
研磨	细研	5~6	0.05~0.4
	精研	3~5	0.012~0.05
超精加工		01~5	0.012~0.1

附表 2-2 外圆表面的加工路线与精度

No	工艺路线	尺寸精度 IT	粗糙度 $R_z/(\mu\text{m})$
1	粗车	12~13	12.5~50
2	粗车—细车	10~11	1.6~6.3
3	粗车—细车—精车	6~8	0.2~1.6
4	粗车—细车—粗磨	7~8	0.8~1.6
5	粗车—细车—粗磨—精磨	5~6	0.1~0.8
6	粗车—细车—磨削—研磨	4~6	0.05~0.2
7	粗车—细车—粗磨—精磨—抛光	4~5	0.2~0.012
8	粗车—细车—粗磨—精磨—超精加工	3~5	0.05~0.012

附表 2-3 内圆表面的加工路线与精度

No	工艺路线	尺寸精度 IT	粗糙度 $R_z/(\mu\text{m})$
1	钻	12~13	12.5~50
2	钻—扩	10~11	3.2~12.5
3	钻—扩—铰	7~9	0.4~1.6
4	钻—扩—拉	7~9	0.4~1.6
5	粗镗	12~13	12.5~50
6	粗镗—细镗	10~11	3.2~12.5
7	粗镗—细镗—精镗	6~9	0.1~1.6
8	粗镗—细镗—磨削	6~9	0.1~1.6
9	粗镗—细镗—磨削—珩磨	6~7	0.025~0.2
10	粗镗—细镗—磨削—研磨	5~7	0.012~0.1
11	粗镗—细镗—磨削—超精加工	3~5	0.025~0.1

附表 2-4 平面的加工路线与精度

No	工 艺 路 线	尺寸精度 IT	粗糙度 $R_z/(\mu\text{m})$
1	粗铣	12~13	12.5~50
2	粗铣—细铣	8~11	1.6~6.3
3	粗铣—细铣—精铣	6~7	0.2~0.8
4	粗车	12~13	12.5~50
5	粗车—细车	8~9	1.6~6.3
6	粗车—细车—精车	6~7	0.4~1.6
7	粗铣—细铣—磨削	6~7	0.2~1.6
8	粗车—细车—磨削	6~8	0.2~1.6
9	粗铣—细铣—磨削—研磨	5~7	0.012~0.2
10	粗铣—细铣—磨削—超精加工	4~5	0.012~0.1

附录三 表面粗糙度

R_a 的数值系列由 $100\mu\text{m}$ 至 $0.008\mu\text{m}$ 共 42 个系列值, 为 R10 优先数系, 公比为 1.25。其中 14 个优先值, 为 R10/3 系列, 公比为 2, 在表中加方框表示。

附表 3-1 轮廓算术平均偏差 R_a 的数值

100	80	63	50	40	32	25	20	16.0	12.5
10.0	8.0	6.3	5.0	4.0	3.2	2.5	2.0	1.60	1.25
1.00	0.80	0.63	0.50	0.40	0.32	0.25	0.20	0.160	0.125
0.100	0.080	0.063	0.050	0.040	0.032	0.025	0.020	0.016	0.012
0.010	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—

R_z 和 R_y 的数值系列由 $1600\mu\text{m}$ 至 $0.025\mu\text{m}$ 共 49 个系列值, 为 R10 系列, 公比为 1.25。其中 17 个优先值为 R10/3 系列, 公比为 2, 在表中加方框表示。

附表 3-2 微观不平度十点高度 R_z 和轮廓最大高度 R_y 的数值

—	—	—	—	—	—	—	—	1600	1250
1000	800	630	500	400	320	250	200	160	125
100	80	63	50	40	32	25	20	16	12.5
10.0	8.0	6.3	5.0	4.0	3.2	2.5	2.0	1.60	1.25
1.00	0.80	0.63	0.50	0.40	0.32	0.25	0.20	0.16	0.125
0.100	0.080	0.063	0.050	0.040	0.032	0.025	—	—	—

附录四 余量简表

附表 4-1 车削外圆的加工余量

直径尺寸 (mm)	直径余量 (mm)				直径公差	
	粗车		细车			
	长度 (mm)				荒车	粗车
	≤200	>200~400	≤200	>200~400		
≤10	1.5	1.7	0.8	1.0	IT14	IT12~13
>10~18	1.5	1.7	1.0	1.3		
>18~30	2.0	2.2	1.3	1.3		
>30~50	2.0	2.2	1.4	1.5		
>50~80	2.3	2.5	1.5	1.8		
>80~120	2.5	2.8	1.5	1.8		
>120~180	2.5	2.8	1.8	2.0		
>180~260	2.8	3.0	2.0	2.3		
>260~360	3.0	3.3	2.0	2.3		

附表 4-2 磨削外圆的加工余量

直径尺寸 (mm)	直径余量 (mm)		直径公差	
	粗磨	细磨	细车	粗磨
≤10	0.2	0.1	IT10~11	IT9
>10~18	0.2	0.1		
>18~30	0.2	0.1		
>30~50	0.3	0.1		
>50~80	0.3	0.2		
>80~120	0.3	0.2		
>120~180	0.5	0.3		
>180~260	0.5	0.3		
>260~360	0.5	0.3		

附表 4-3 镗削内孔的加工余量

直径尺寸 (mm)	直径余量 (mm)		直径公差	
	粗镗	细镗	钻孔	粗镗
≤18	0.8	0.5	IT12~13	IT11~12
>18~30	1.2	0.8		
>30~50	1.5	1.0		
>50~80	2.0	1.0		
>80~120	2.0	1.3		
>120~180	2.0	1.5		

附表 4-4 拉削内孔的加工余量

直径尺寸 (mm)	直径余量 (mm)			前工序的公差
	拉孔长度 (mm)			
	~25	>25~45	>45~120	
~18	0.5	0.5	0.5	IT11
>18~20	0.5	0.5	0.7	
>30~38	0.5	0.7	0.7	
>38~50	0.7	0.7	1.0	
>50~60	0.7	1.0	1.0	

附表 4-5 磨削内孔的加工余量

直径尺寸 (mm)	直径余量 (mm)		直径公差	
	粗磨	细磨	细镗	粗磨
>10~18	0.2	0.1	IT10	IT9
>18~30	0.2	0.1		
>30~50	0.2	0.1		
>50~80	0.3	0.1		
>80~120	0.3	0.2		
>120~180	0.3	0.2		

附表 4-6 端面细车的加工余量

工件长度 (mm)	端面的细车余量 (mm)			粗车端面 后的尺寸公差
	端面最大尺寸 (mm)			
	≤30	>30~120	>120~260	
≤10	0.5	0.6	1.0	IT12~13
>10~18	0.5	0.7	1.0	
>18~30	0.6	1.0	1.2	
>30~50	0.6	1.0	1.2	
>50~80	0.7	1.0	1.3	
>80~120	1.0	1.0	1.3	
>120~180	1.0	1.3	1.5	
>180~260	1.0	1.3	1.5	

附表 4-7 端面磨削的加工余量

工件长度 (mm)	端 面 的 磨 削 余 量 (mm)			细车端面后 的尺寸公差
	端 面 最 大 尺 寸(mm)			
	≤30	>30~120	>120~260	
≤10	0.2	0.2	0.3	IT10~11
>10~18	0.2	0.3	0.3	
>18~30	0.2	0.3	0.3	
>30~50	0.2	0.3	0.3	
>50~80	0.3	0.3	0.4	
>80~120	0.3	0.3	0.5	
>120~180	0.3	0.4	0.5	
>180~260	0.3	0.5	0.5	

附表 4-8 模锻件粗加工的加工余量

直径尺寸 (mm)	加 工 余 量(mm)							
	长 度 (mm)							
	≤120		>120~180		>180~360		>360	
	余量	公差	余量	公差	余量	公差	余量	公差
≤30	2.5	+1 -0.5	3.0	+1 -0.5	3.0	+1.5 -0.5	4.0	+1.5 -0.5
>30~50	2.5	+1 -0.5	3.0	+1 -0.5	3.5	+1.5 -0.5	4.5	+1.5 -0.5
>50~80	3.0	+1.5 -0.5	3.5	+1.5 -0.5	4.0	+1.5 -1.0	4.5	+1.5 -1.0
>80~120	3.0	+1.5 -0.5	4.0	+1.5 -1.0	4.5	+1.5 -1.0	5.0	+1.5 -1.0
>120	3.5	+1.5 -0.5	4.0	+1.5 -1.0	4.5	+1.5 -1.0	5.0	+2.0 -1.0

注:公差系指锻件公差

习 题

1. 轴承套零件图如图 XT-1 所示。表面 H, G 与本体配合, 表面 N, L 用以安装滚珠轴承, 六个螺钉通过 $\phi 5.5$ 六孔, 将轴承套固定在本体上, $\phi 4$ 四孔用以通润滑油。该零件材料为钢 45, 硬度为 HRC32~36, 自由尺寸公差按 IT12。试对该零件进行工艺分析。

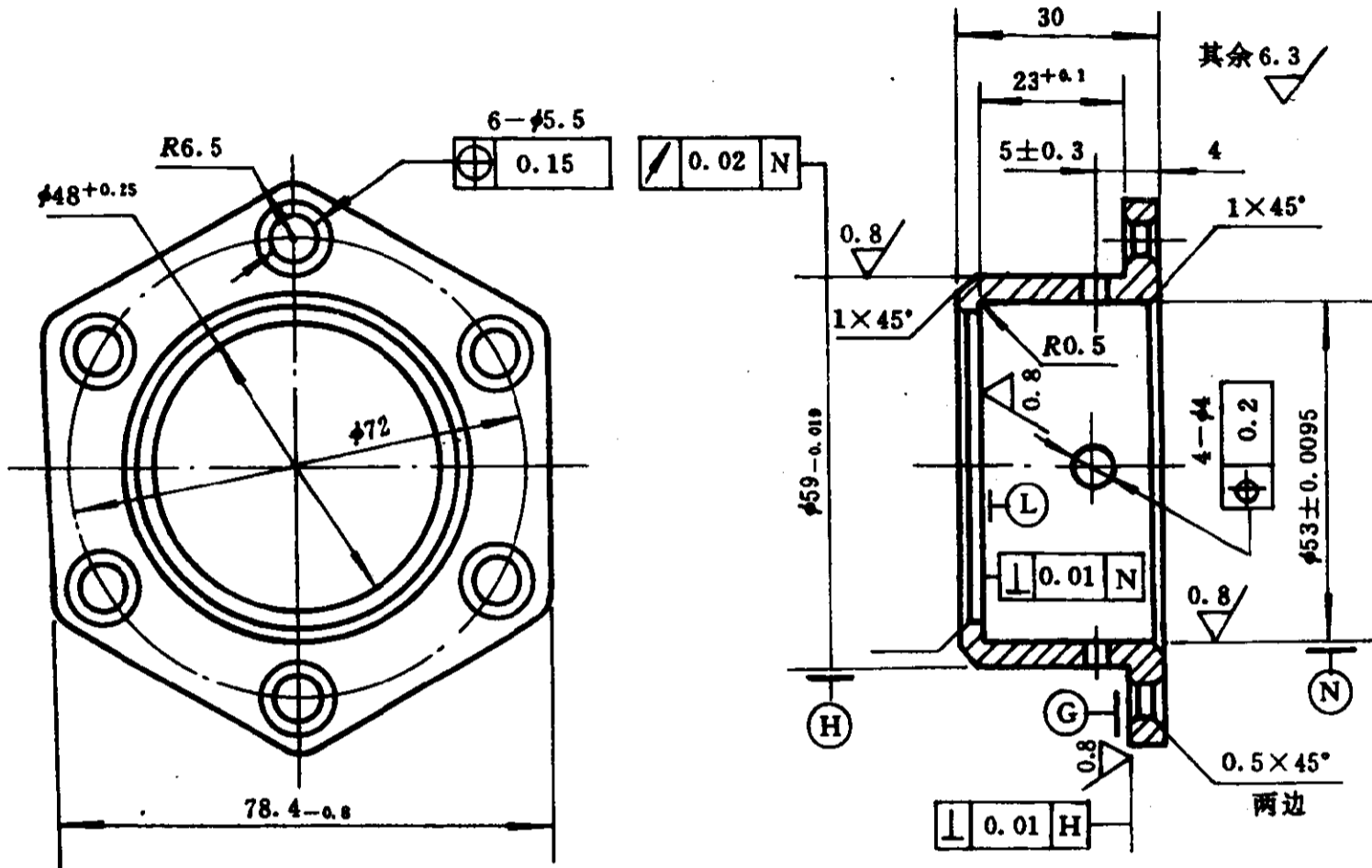


图 XT-1 轴承套零件图

2. 某仪表轴承外环零件图如图 XT-2 所示。表面 G 与本体配合, 表面 F 与滚珠配合。表面 F 的直径尺寸 ϕA 要进行尺寸分组。材料为 G Cr15, 硬度为 HRC63~66。试对该零件进行工艺分析

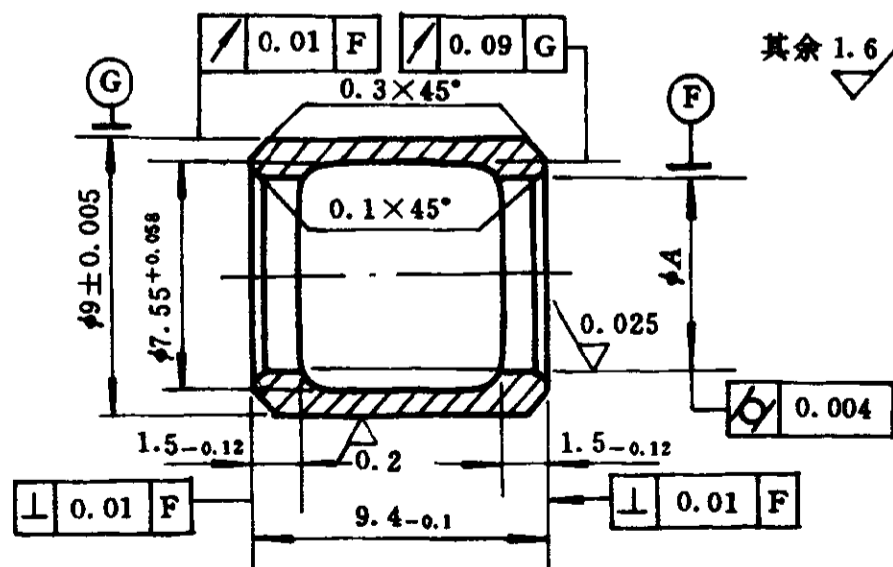


图 XT-2 轴承外环零件图

φA 的尺寸分组表

组号	1	2	3	4	5	6
尺寸	$7.256^{+0.001}$	$7.257^{+0.001}$	$7.258^{+0.001}$	$7.259^{+0.001}$	$7.260^{+0.001}$	$7.261^{+0.001}$
组号	7	8	9	10	11	12
尺寸	$7.262^{+0.001}$	$7.263^{+0.001}$	$7.264^{+0.001}$	$7.265^{+0.001}$	$7.266^{+0.001}$	$7.267^{+0.001}$

3. 试指出图 XT-3 所示零件图中, 哪些尺寸精度及技术要求是表面本身精度, 哪些是表面间的相对位置精度?

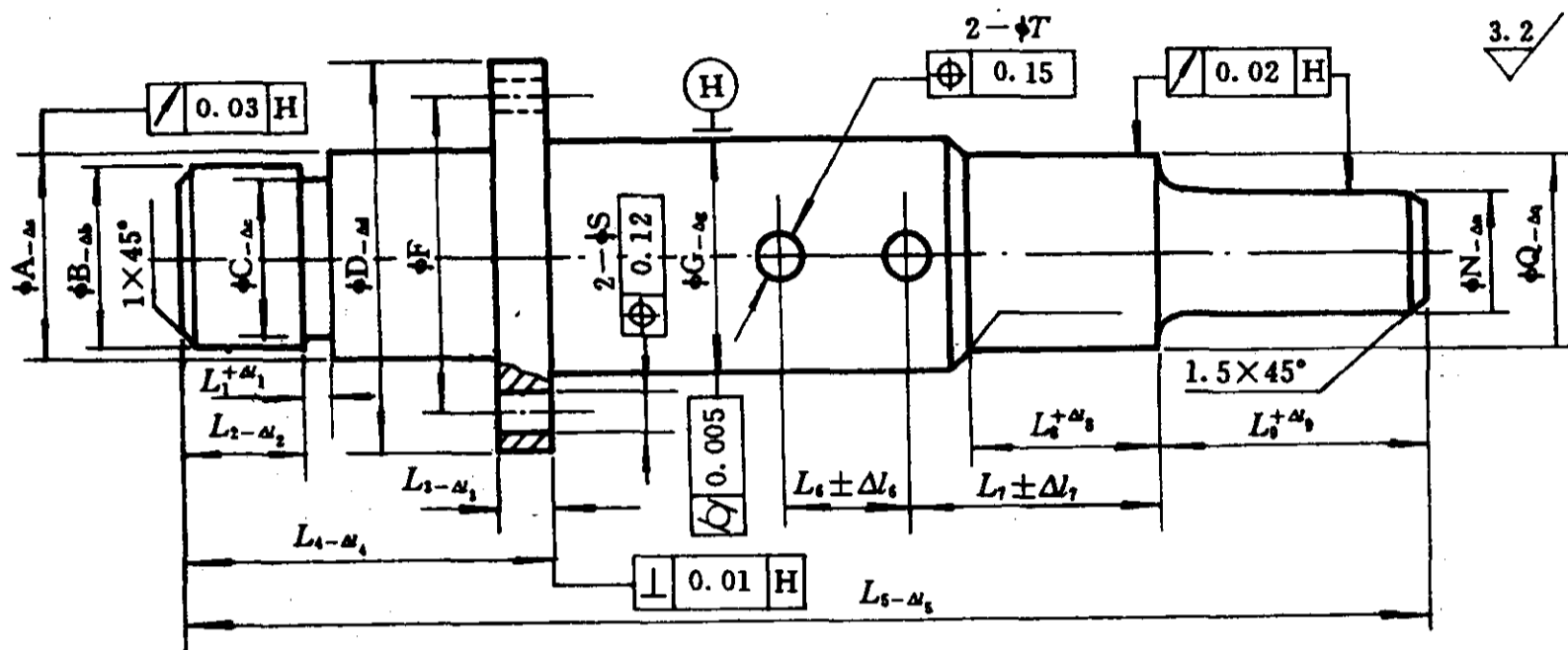


图 XT-3 小轴零件图

4. 试指出图 XT-1 中, 哪些是表面本身精度要求? 哪些是属于表面间的相对位置精度要求?

5. 试指出图 XT-2 中, 哪些是表面本身精度要求, 哪些是属于表面间的相对位置精度要求?

6. 试指出图 XT-4(a), (b), (c) 中, 表面 A 和表面 B 的设计基准是哪些表面?

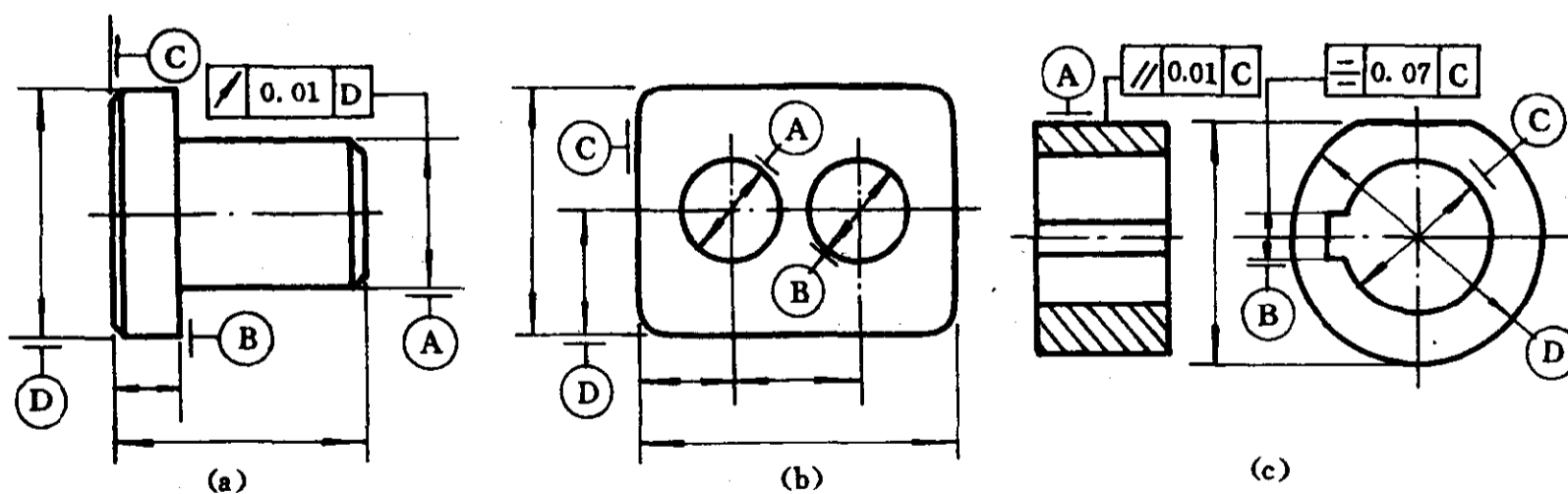


图 XT-4 设计图

7. 试指出图 XT-1 所示零件图中, 表面 H 和表面 L 的设计基准是哪些表面?

8. 试指出图 XT-2 所示零件图中, 表面 G 的设计基准。

9. 试指出图 XT-5(a), (b), (c) 中加工表面 A, B 的原始基准是哪些表面?

10. 有一尺寸为: $\phi 50^{+0.1}_{-0.2}$, 试指出其基本尺寸、最大极限尺寸、最小极限尺寸、上偏差、下偏

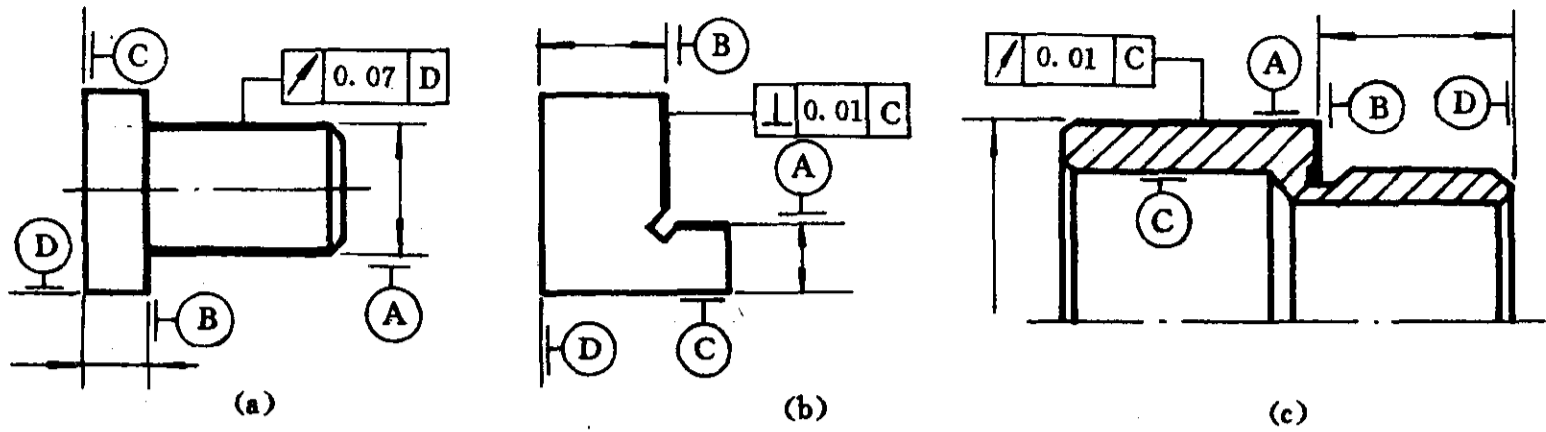


图 XT-5 工序图

差及公差。

11. 将下列尺寸的下偏差换成零值:

$$\phi 20 \pm 0.1, \phi 20_{-0.2}^{+0.1}, \phi 20_{+0.1}^{+0.2}, \phi 20_{-0.2}^{-0.1}, \phi 20_{-0.3}$$

12. 将下列尺寸的上偏差换成零值:

$$\phi 30 \pm 0.5, \phi 30_{-0.2}^{+0.1}, \phi 30_{+0.1}^{+0.2}, \phi 30_{-0.2}^{-0.1}, \phi 30_{+0.3}$$

13. 将下列尺寸换成对称偏差:

$$40_{-0.4}, 40_{+0.1}^{+0.4}, 40_{+0.1}^{+0.3}, 40_{-0.1}^{+0.3}, 40_{-0.3}^{-0.1}$$

14. 试计算图 XT-6 所示尺寸链中的:

$$F_{+\Delta f_x}^{+\Delta f_x} = ?, \quad H_{+\Delta h_x}^{+\Delta h_x} = ?$$

⊕ (双线为封闭环)

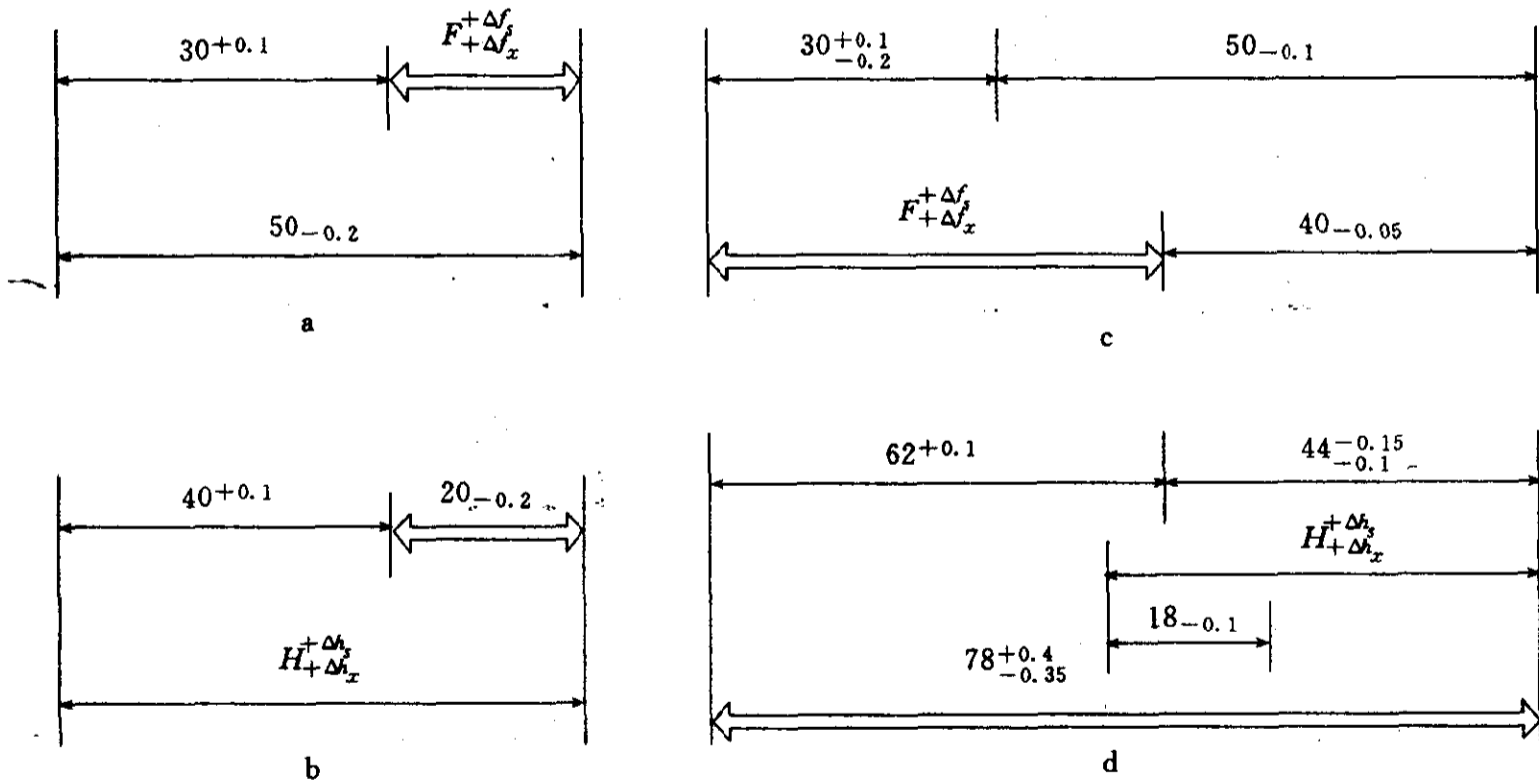


图 XT-6 尺寸链图

15. 在成批生产条件下,试选择图 XT-1 中表面 H,G 及 $\phi 4$ 的加工方法。

16. 在成批生产条件下,试选择图 XT-2 中表面 F 及 G 的加工方法。

17. 在成批生产条件下,图 XT-1 所示的轴承套,在加工时是否要划分阶段? 并说明其原因。

18. 习题图 XT-7 所示为零件图及工序图,该工序图是该零件的最后一个加工工序,采用

No	零件图	工序图
1		
2		
3		
4		
5		

图 XT-7 零件图及有关工序图

钻具进行钻孔。试选择该工序的定位基准,并说明选择的原因(工序图中粗线表示被加工表面)。

19. 试指出图 XT-8 中所示的各工序有无定基误差? 其数值等于多少?

No	工序 20	工序 25	工序 30	工序 35
1				
2				
3				
4				
5				
注	表示定位基准		粗线表示加工表面	

图 XT-8 加工工序图

20. 图 XT-1 所示的轴承套,应采用什么热处理的方法? 热处理工序的位置应安排在何处? 为什么?

21. 图 XT-2 所示的轴承外环,应采用什么热处理的方法? 热处理工序的位置应安排在何处? 为什么?

22. 图 XT-9 所示,(a)为零件的部分要求,(b),(c)为有关工序。试计算零件图要求的尺寸是否能保证?

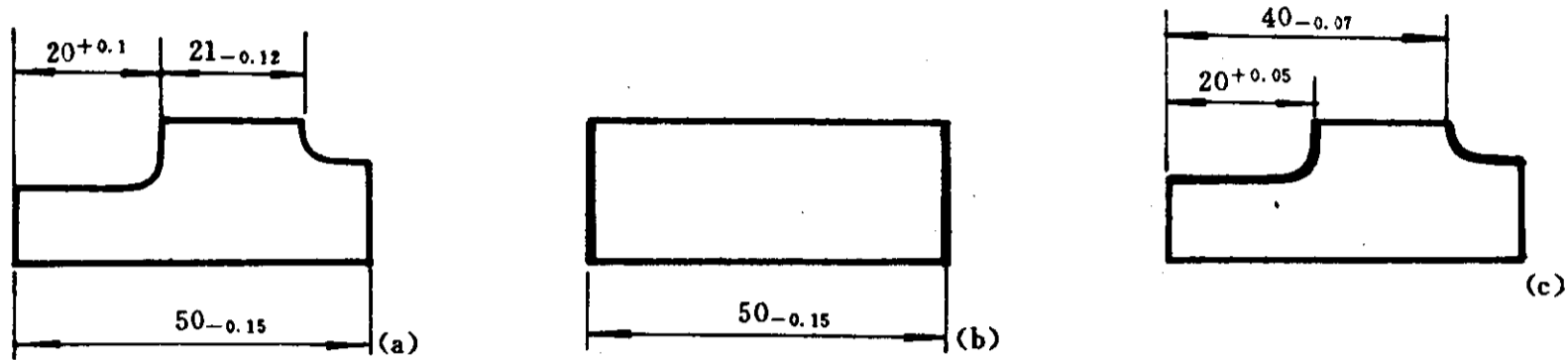


图 XT-9 尺寸验算

23. 如图 XT-10 所示,(a)为零件图的部分尺寸要求,(b),(c)为有关工序,试计算工序尺寸 $H^{+\Delta h}$ 等于多少?

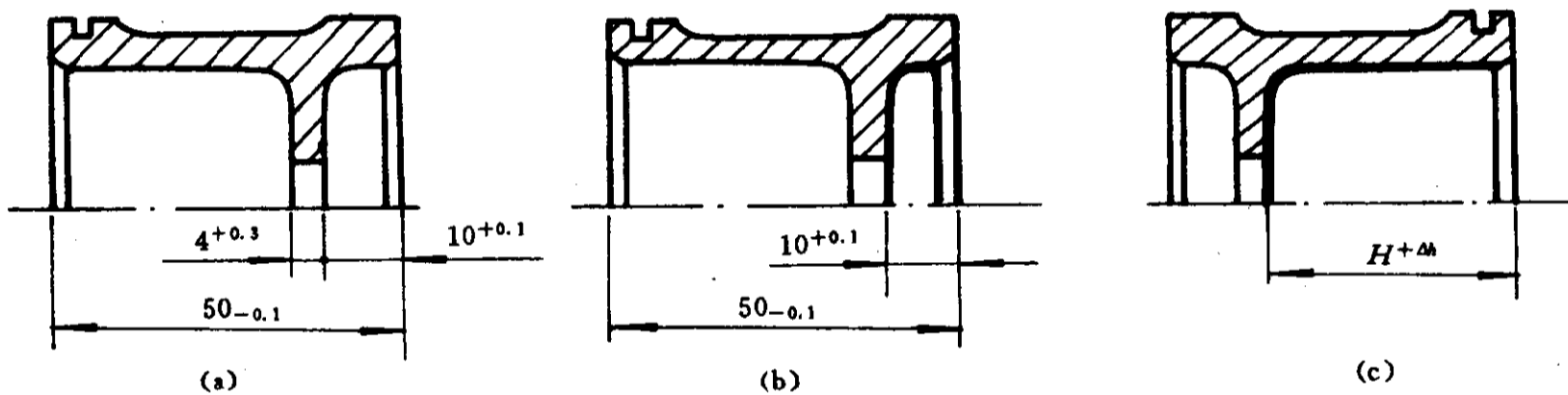


图 XT-10 工序尺寸计算

24. 如图 XT-11 所示:(a)为部分零件图尺寸要求,(b),(c),(d)为有关的加工工序图,试问:

- (1) 零件图尺寸 $40_{-0.3}$ 能否保证?
- (2) 求工序尺寸 $H_{-\Delta h}$ 等于多少?

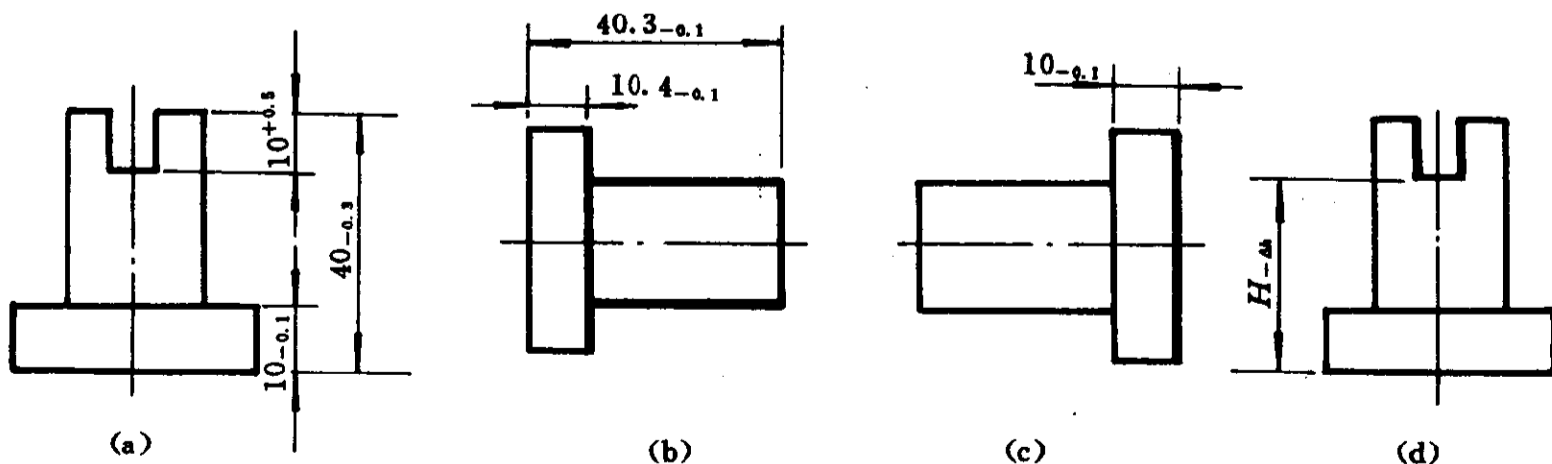


图 XT-11 尺寸链验算

25. 如图 XT-12 所示:(a)为部分零件尺寸的要求,(b)为加工槽的工序,其他表面均已加工完毕,试求工序尺寸 $H-\Delta$ 等于多少?

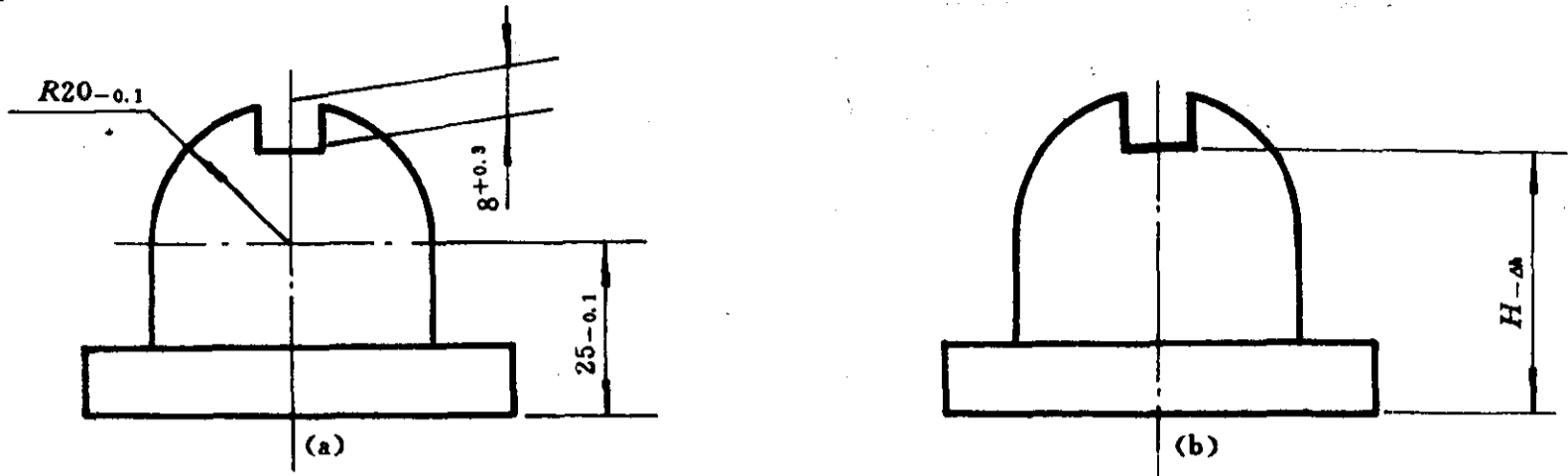


图 XT-12 工序尺寸计算

26. 图 XT-13 所示为某一套筒零件,(a)为零件图部分尺寸要求,(b)为加工槽的工序,工序尺寸有两种标注方案,标注尺寸 A 或 B ,试求这两种方案的原始尺寸及其偏差(其它表面均已加工完毕)。

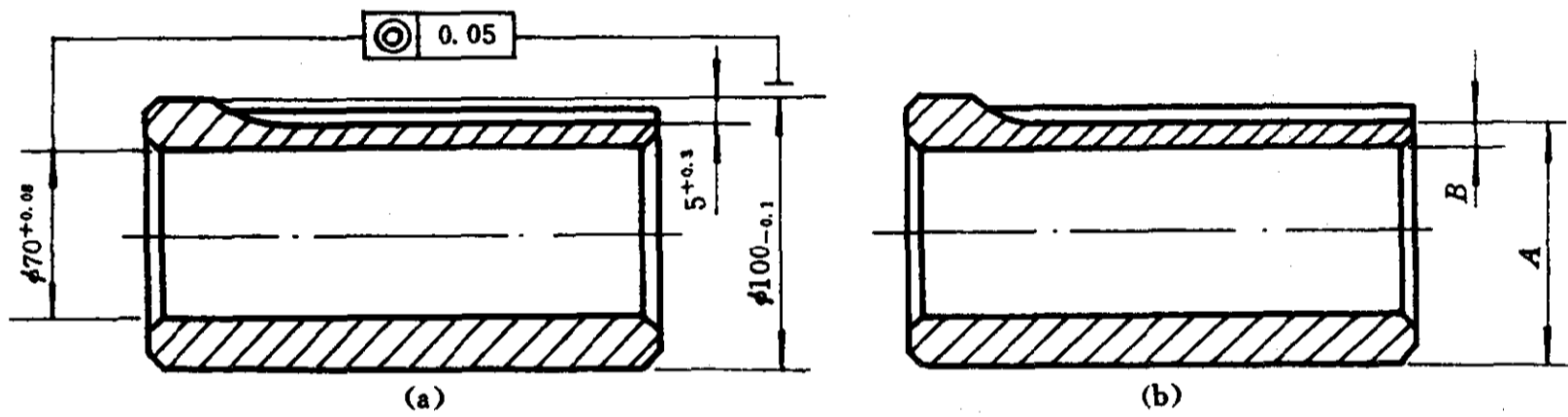


图 XT-13 工序尺寸注法比较

27. 图 XT-14 所示,(a)为零件的部分尺寸要求,(b),(c)为最后两个加工工序,试计算工序尺寸 $L_1^{+\Delta_1}$, $L_2^{+\Delta_2}$, $L_3^{-\Delta_3}$ 。

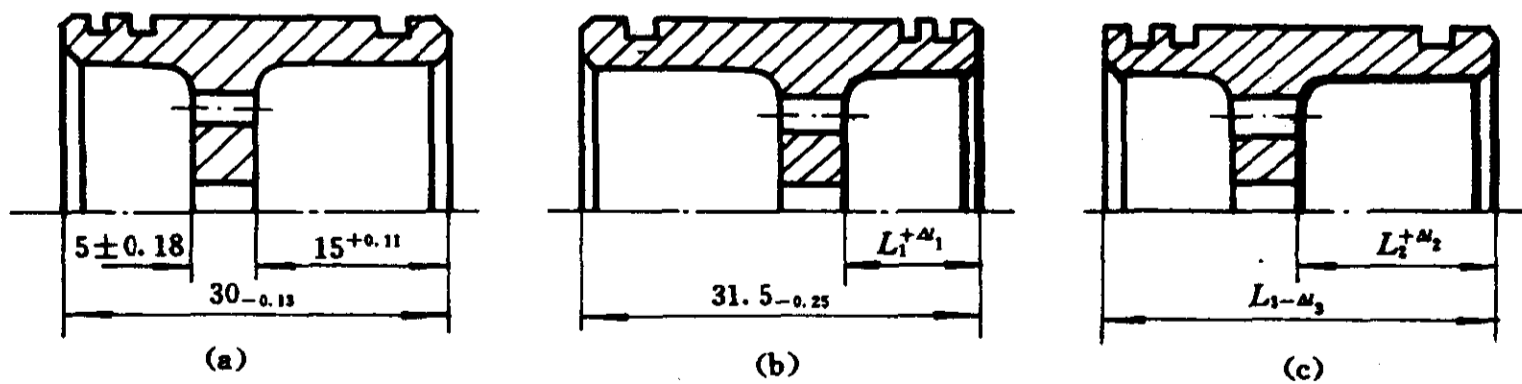


图 XT-14 工序尺寸的确定

28. 如图 XT-15 所示:(a),(b),(c),(d)为某工件的最后 4 个加工工序,试计算铣槽工序(d)的定基误差。

29. 如图 XT-16 所示:(a),(b),(c),(d)为某工件的最后 4 个加工工序,试计算加工小孔工序(d)的定基误差。

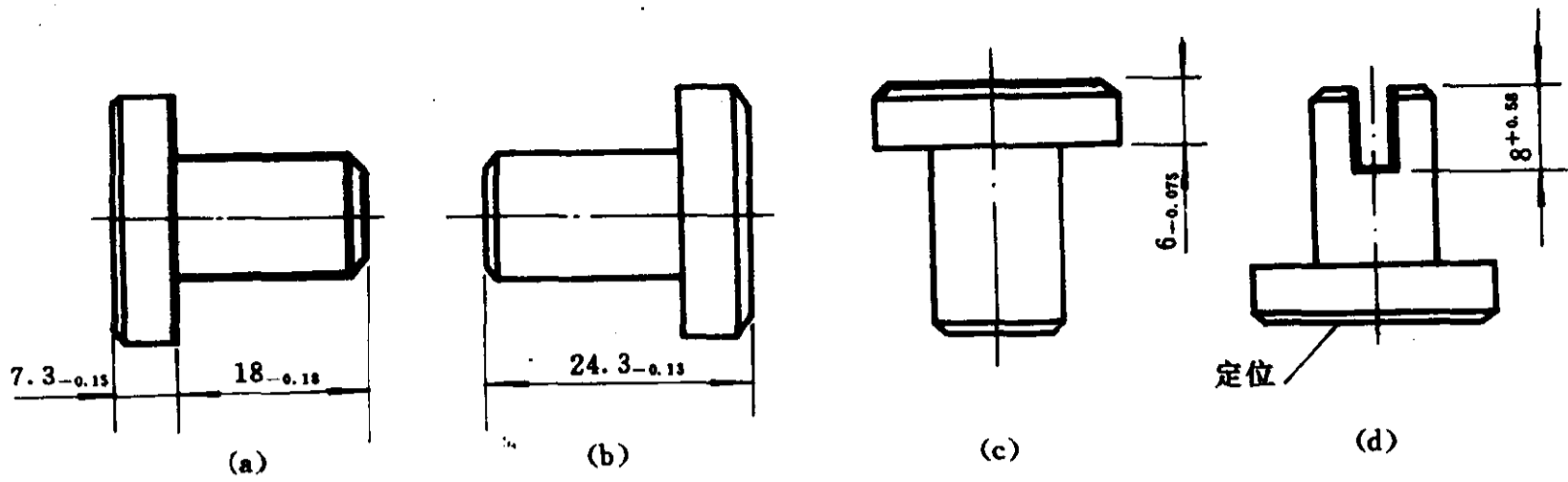


图 XT-15 铣槽工序定基误差计算

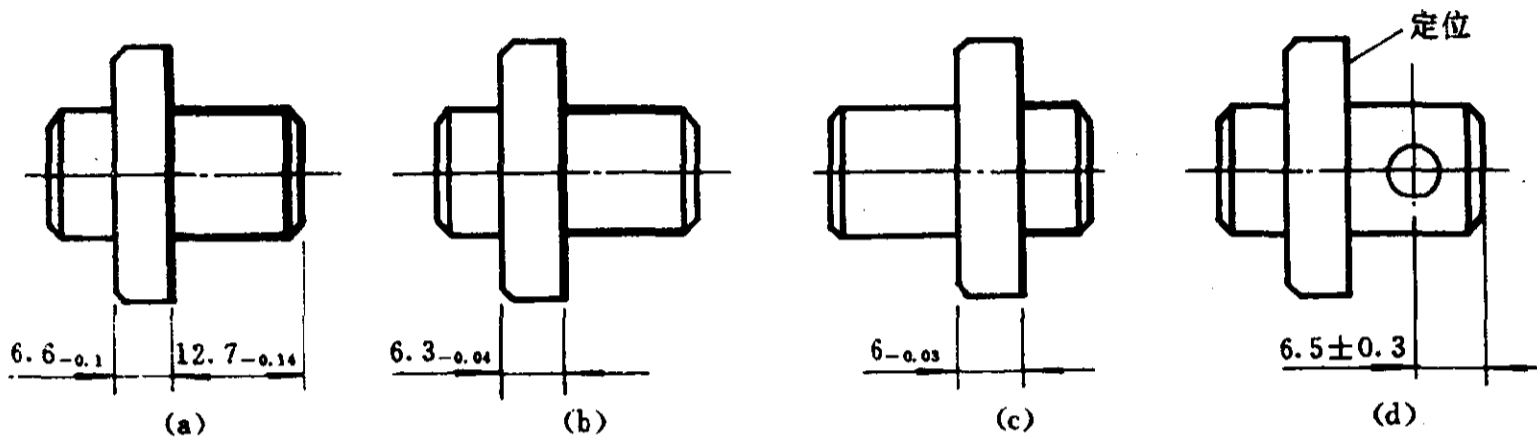


图 XT-16 钻孔工序定基误差计算

30. 如图 XT-17 所示:(a)为零件的部分尺寸要求,(b),(c),(d)为最后 3 个加工工序,试计算镗孔的深度尺寸 $B^{+\Delta b}$ 等于多少?

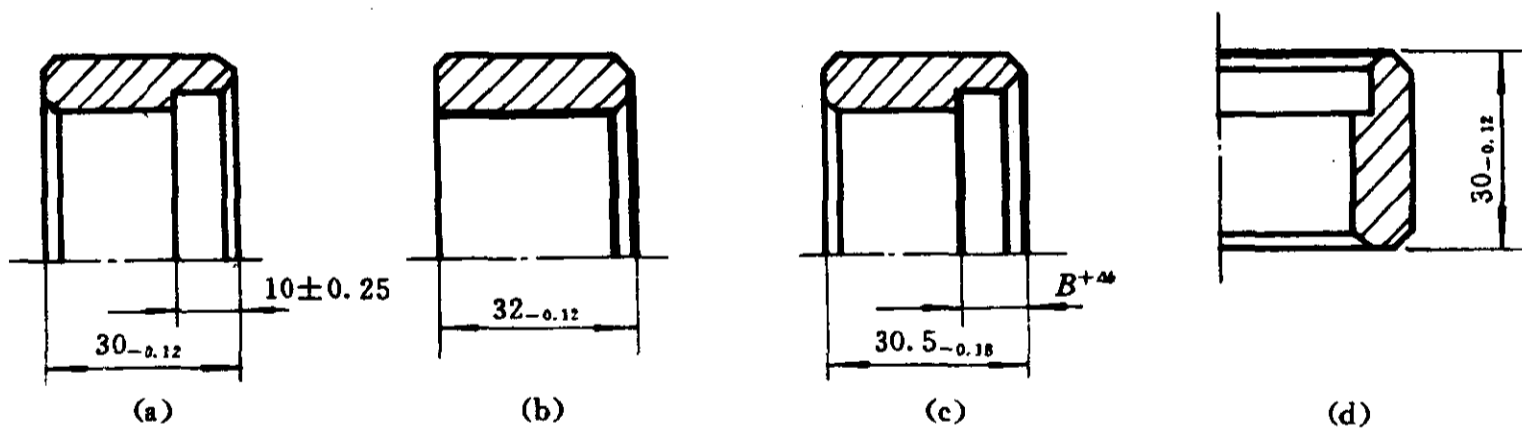


图 XT-17 镗孔尺寸计算

31. 图 XT-18(a)所示为套筒的部分设计尺寸的要求,(b),(c)为该套筒的最后两个加工工序,试求尺寸 $H_1 - \Delta h_1, H_2 - \Delta h_2, H_3^{+\Delta h_3}$ 的数值。

32. 图 XT-19(a)所示为零件的部分设计尺寸要求,(b),(c)为最后两个加工工序,试确定 $H_1 - \Delta h_1, H_2^{+\Delta h_2}, H_3 - \Delta h_3$ 的数值。

33. 某零件的工艺过程如图 XT-20,试校核端面 K 的加工余量是否足够?

34. 图 XT-21(a)所示某零件图的部分尺寸要求,在钻小孔前其他表面均已加工完毕,钻孔工序的原始基准选择有 3 种方案,如图(b),(c),(d)所示。试计算这 3 种方案的原始尺寸及偏差: $H_1 \pm \Delta h_1, H_2 \pm \Delta h_2, H_3 \pm \Delta h_3$ 。

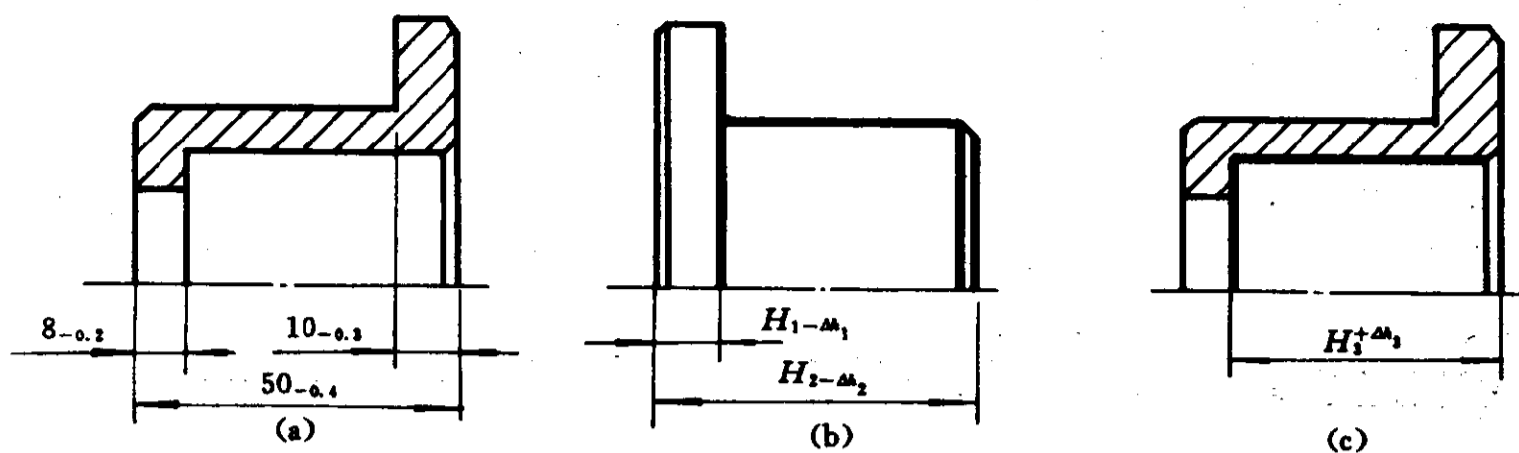


图 XT-18 套筒尺寸计算

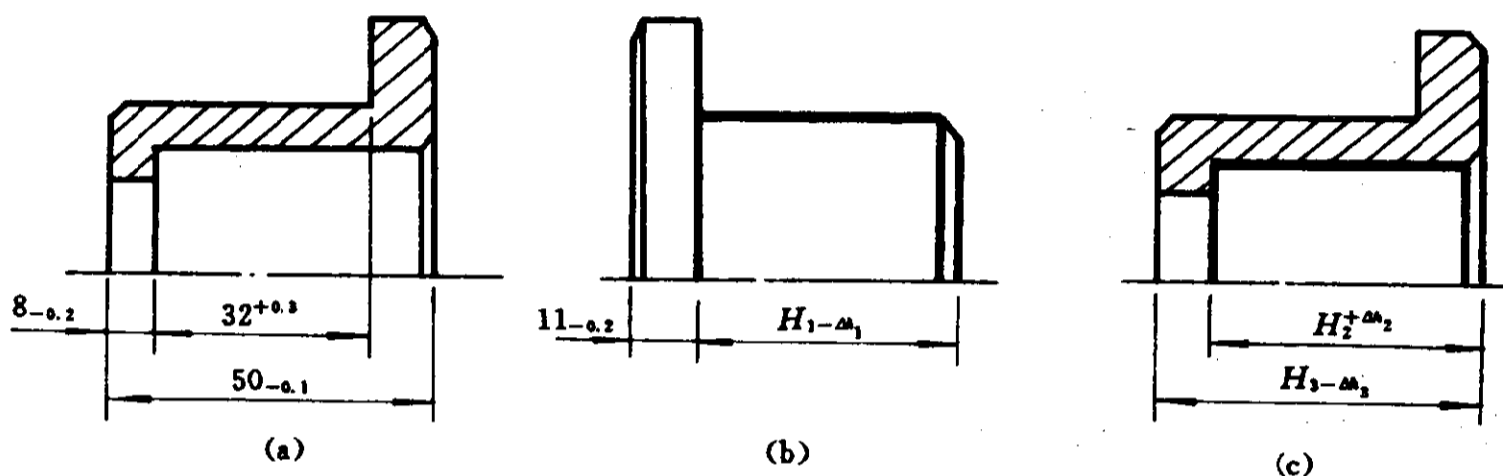


图 XT-19 工序尺寸确定

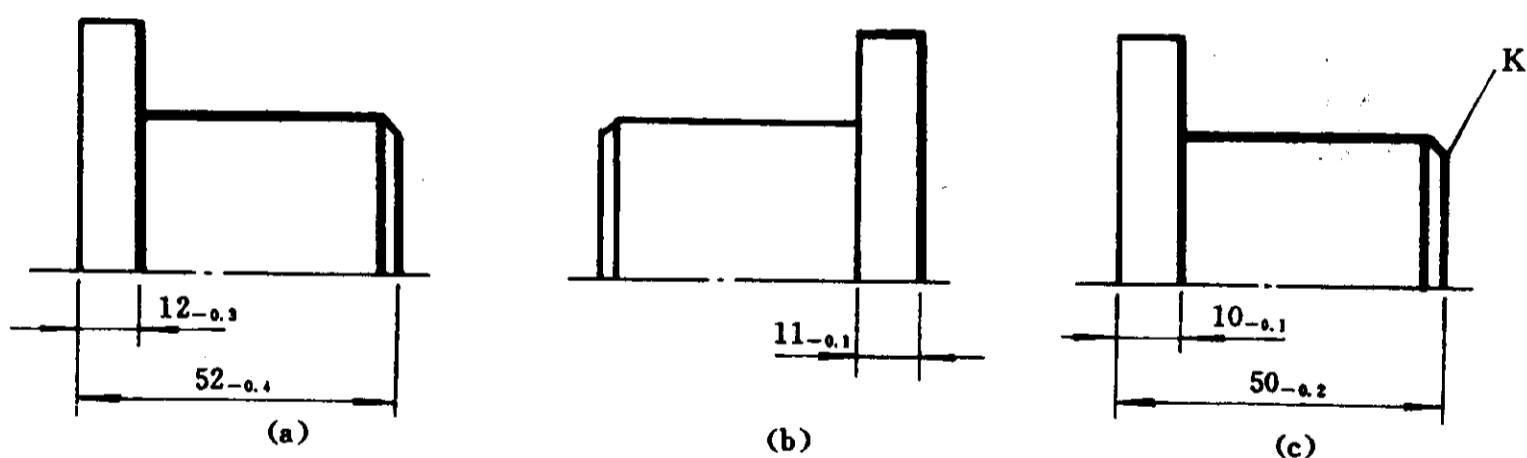


图 XT-20 加工余量核算

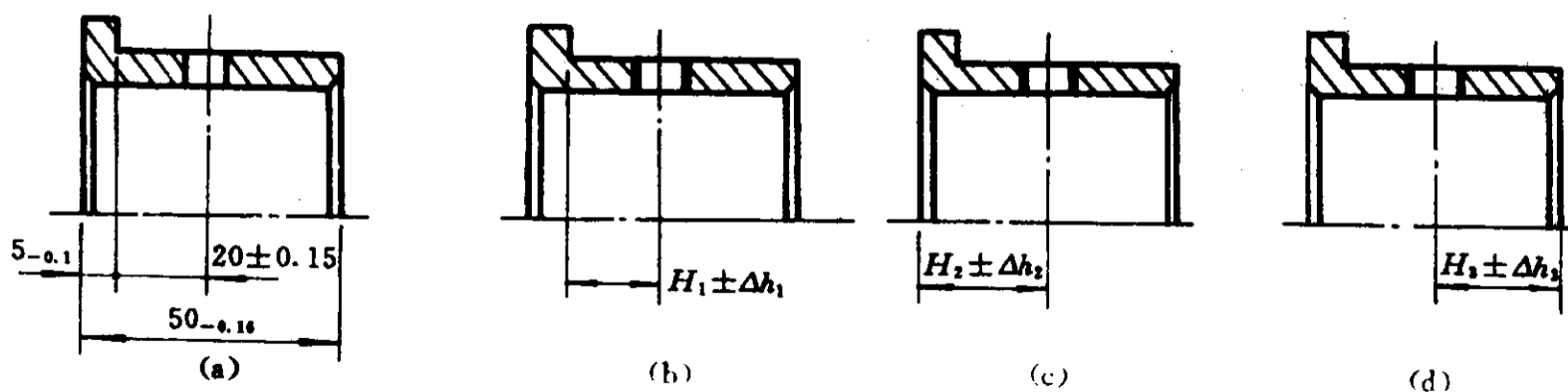


图 XT-21 工艺方案比较

35. 图 XT-22(a)所示为某零件的部分尺寸要求, (b), (c), (d)为该零件的最后 3 个加工

工序,在钻孔时,原始基准有3种方案,其原始尺寸分别为: $H_1 \pm \Delta h_1, H_2 \pm \Delta h_2, H_3 \pm \Delta h_3$,试分析这3种方案的优缺点。

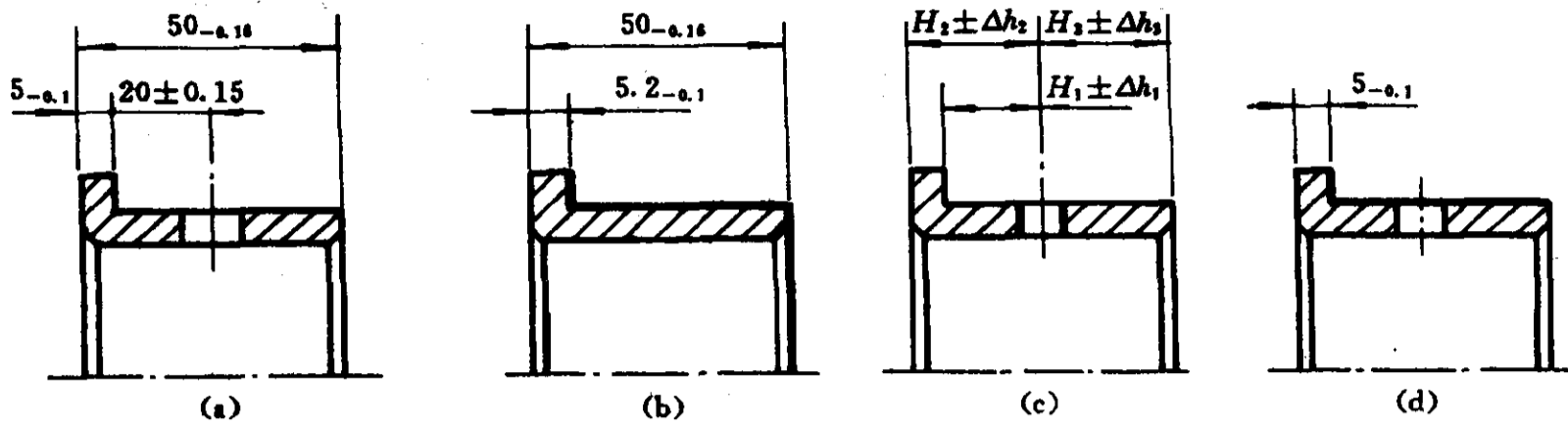


图 XT-22 原始基准选择

36. 图 XT-23 为某零件最后精磨大端面的工序图,尺寸为 $5_{-0.03}$,该表面在加工前已镀铬,零件图要求铬层厚度为 $0.05 \sim 0.12\text{mm}$,试求该凸缘在镀铬前粗磨时的厚度尺寸及公差 $H_{-\Delta}$ 。

37. 图 XT-24 所示零件图的外圆 $\phi 40_{-0.016}$ 表面上要渗碳,零件图要求单边的渗碳层深度为 $0.6 \sim 1.0\text{mm}$ 。此外圆的加工顺序是先车外圆,工序尺寸为 $\phi 40.6_{-0.062}$,再渗碳淬火,最后按零件图要求进行磨削,保持尺寸 $\phi 40_{-0.016}$ 。试求渗碳工序的渗碳层深度,应控制在什么范围。

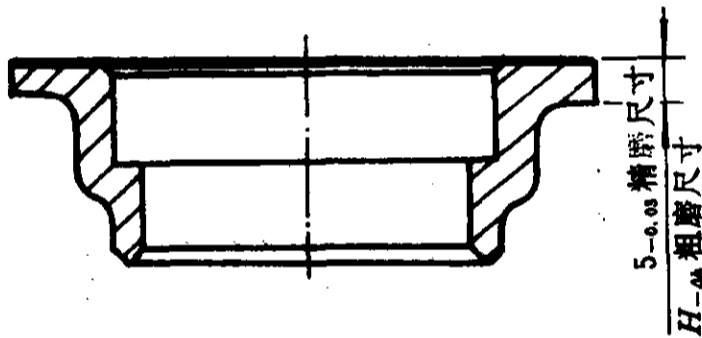


图 XT-23 电镀时的尺寸计算

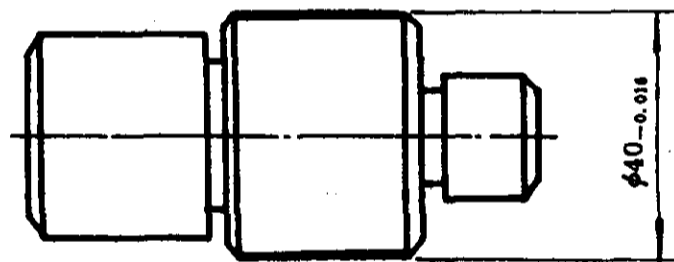


图 XT-24 渗碳层深度计算

38. 图 XT-25(a)所示为某零件的部分尺寸要求,(b),(c)为最后两个机械加工工序,试用尺寸图表法计算原始尺寸: $A^{+\Delta}, b_{-\Delta}, C^{+\Delta}, D^{+\Delta}$ 。

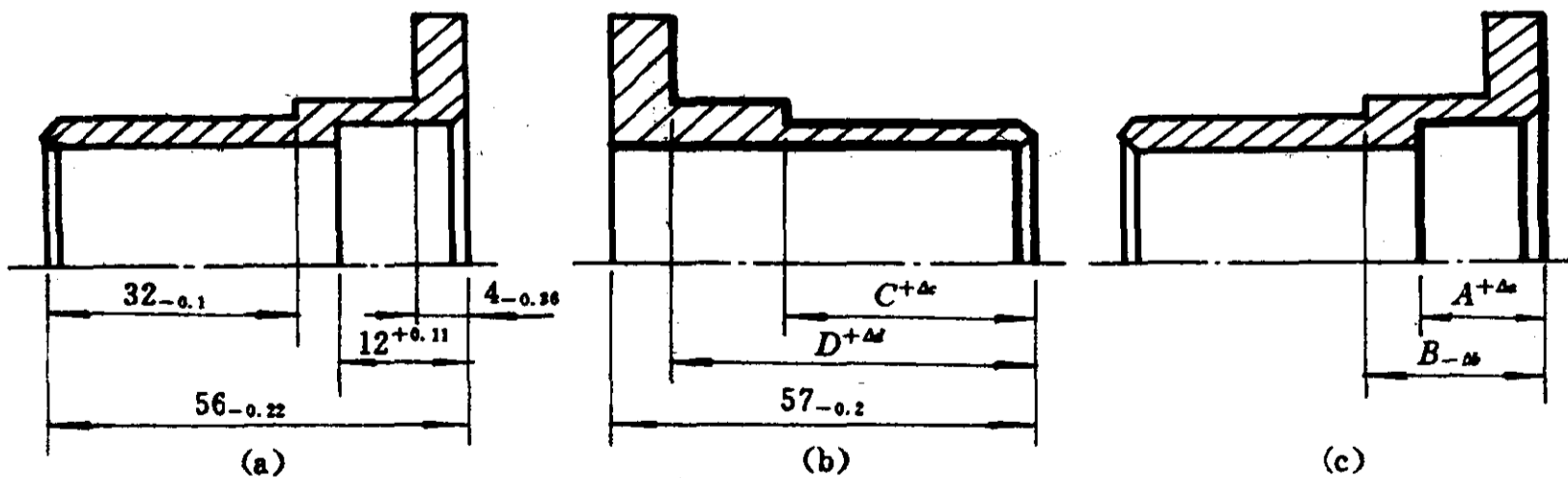


图 XT-25 尺寸图表计算

39. 图 XT-26(a)所示为某零件的轴向设计尺寸,(b),(c),(d),(e),(f)为其加工工序,试用尺寸图表法确定各工序尺寸的偏差。

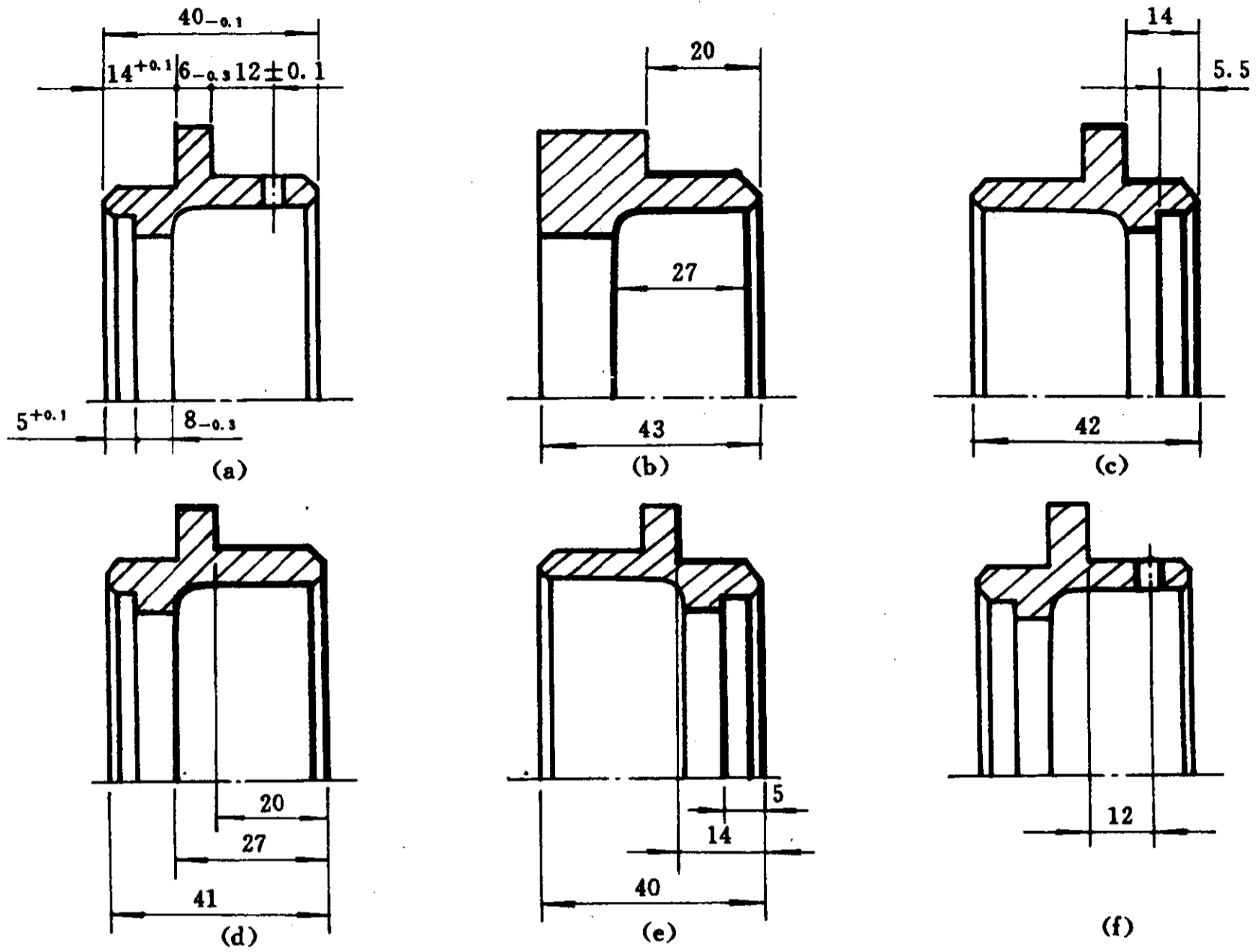


图 XT-26 原始尺寸偏差的确定

40. 加工某一小轴,其外径尺寸为 $10_{-0.09}$,加工后实测数据如表 XT-1 所示。试作直方图,并求散布界、平均尺寸及均方根差。

表 XT-1

№	外 径	№	外 径	№	外 径	№	外 径
1	9.936	26	9.938	51	9.945	76	9.949
2	9.930	27	9.938	52	9.946	77	9.948
3	9.939	28	9.943	53	9.949	78	9.956
4	9.931	29	9.946	54	9.948	79	9.955
5	9.933	30	9.945	55	9.946	80	9.945
6	9.942	31	9.943	56	9.944	81	9.947
7	9.939	32	9.945	57	9.950	82	9.950
8	9.935	33	9.941	58	9.950	83	9.957
9	9.939	34	9.941	59	9.946	84	9.954
10	9.937	35	9.943	60	9.944	85	9.952
11	9.933	36	9.940	61	9.947	86	9.947
12	9.936	37	9.940	62	9.949	87	9.950
13	9.936	38	9.943	63	9.950	88	9.953
14	9.939	39	9.945	64	9.951	89	9.954
15	9.934	40	9.943	65	9.944	90	9.952
16	9.942	41	9.944	66	9.955	91	9.950
17	9.943	42	9.941	67	9.948	92	9.950
18	9.937	43	9.941	68	9.951	93	9.955
19	9.940	44	9.945	69	9.951	94	9.949
20	9.940	45	9.944	70	9.949	95	9.960
21	9.937	46	9.947	71	9.947	96	9.959
22	9.942	47	9.946	72	9.952	97	9.958
23	9.940	48	9.947	73	9.953	98	9.962
24	9.942	49	9.944	74	9.953	99	9.956
25	9.942	50	9.946	75	9.948	100	9.957

41. 表 XT-1 所列数据的序号是加工顺序号,以每 5 件为一组,试以每组的平均尺寸来画出点图。

42. 将表 XT-1 所列数据,依加工顺序分成 20 组(每组 5 件),画出 \bar{X} -R 质量控制图。

43. 某薄壁套筒加工内孔时,用弹簧夹头以外圆进行定位与夹紧,外圆的圆柱度对内孔的圆度有影响,其数据如表 XT-2 所示。试求其回归直线方程,相关系数。并用简易法求出回归直线。

表 XT-2

№	外圆圆柱度 (mm)	内孔圆度 (mm)	№	外圆圆柱度 (mm)	内孔圆度 (mm)
1	0.081	0.070	11	0.083	0.078
2	0.079	0.065	12	0.093	0.125
3	0.086	0.085	13	0.091	0.115
4	0.088	0.100	14	0.088	0.110
5	0.090	0.105	15	0.078	0.070
6	0.094	0.140	16	0.082	0.095
7	0.077	0.060	17	0.092	0.120
8	0.087	0.120	18	0.085	0.100
9	0.078	0.065	19	0.084	0.085
10	0.080	0.080	20	0.093	0.130

44. 在加工某一薄壁套筒时,对工艺方案进行了试验,试验的因子是:

- (1) 热处理(水平 1:进行去应力热处理,水平 2:不热处理);
- (2) 钻径向小孔(水平 1:细加工时钻孔,水平 2:精加工后钻孔)。

试验的指标是套筒内径的圆度。试验数据如下(用 $L_4(2^3)$ 正交表):

表 XT-3 工艺正交试验

列号 试验号	1	2	3	指标 (μm)
	热处理	钻孔		
1	1	1	1	140
2	1	2	2	170
3	2	1	2	168
4	2	2	1	200

试分析试验结果,并分析试验误差的大小。

45. 试述表面质量的含义。表面质量对使用性能有何影响?

46. 自激振动的特点是什么?减小或消除自激振动一般应采取什么措施?

参 考 文 献

1. 柯明扬. 航空航天机械制造工艺学. 北京:北京航空航天大学出版社,1990
2. 顾崇銜. 机械制造工艺学. 西安:陕西科学技术出版社,1981
3. 侯镇冰. 机械制造工艺理论基础. 上海:上海科学技术出版社,1987
4. 俞长高. 机械制造中的计算机辅助设计. 北京:机械工业出版社,1982
5. 林少官. 基础概率与数理统计. 北京:人民教育出版社,1978
6. 北京大学数学力学系. 正交设计法. 北京:化学工业出版社,1979
7. Groover M P, Zimmers E W. Computer Aided Design and Manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984
8. Buchanan B G, Shortliffe. Rule-Based Expert Systems. California: Addison-Wesley, 1984
9. Kovan V M, Korsakov V S, Kosilova A G. Fundamentals of Manufacturing Engineering. Moscow: MIR, 1979
10. 张耀宸. 机械加工工艺设计实用手册. 北京:航空工业出版社,1993