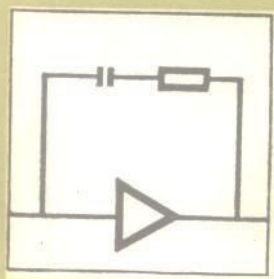
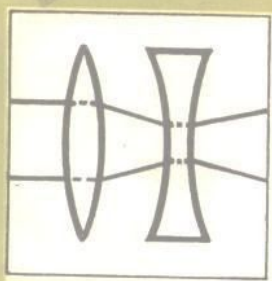


高等学校试用教材



仪器制造工艺学

上海机械学院端木时夏 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

仪器制造工艺学

上海机械学院端木时夏 主编



机械工业出版社

仪 器 制 造 工 艺 学

上海机械学院 端木时夏 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{3}{4}$ · 字数 469 千字

1981 年 4 月北京第一版·1981 年 4 月北京第一次印刷

印数 0,001—9,200 · 定价 2.15 元

*

统一书号: 15033·5027

前 言

本书是根据 1978 年 4 月高等学校一机部对口专业座谈会的精神, 及同年 10 月精密计量仪器专业会议确定的教材编写大纲编写的。本书以学生为主要使用对象, 注意加强基础, 讲清物理概念, 并着重论述了精密机械加工的理论和方法。同时, 引入了有关三维精度、动刚度、数字控制、适应控制、光刻工艺等新的内容, 使教材在一定程度上反映了本学科的发展和有关新技术。此外, 还注意了有关经济分析、质量控制方面的论述。

全书包括: 仪器制造工艺的基本概念; 夹具设计基础; 机械加工精度; 精密机械加工; 机械加工的自动控制; 特种加工; 装配与调整; 结构工艺性等八章内容。由上海机械学院副教授端木时夏同志主编并编写第一、第三和第五章, 冯乾永同志编写第四和第六章, 合肥工业大学安成祥同志编写第二和第八章, 黄翀同志编写第七章。由天津大学陆伯印同志主审, 杨玉琛、周放生和侯文郁等同志参加了审稿工作。

本书除了作为精仪专业统编试用教材外, 还适于光仪、计时、陀螺等仪器类专业和精密机械类专业选用, 并可供有关科技人员参考。

在本书编审过程中, 得到了天津大学和合肥工业大学的大力协助。在教材编写大纲座谈会和编审会上, 合肥工业大学余华芳, 成都科技大学陈泽焜, 河北工学院朱章楠、刁法正, 陕西机械学院熊传楣、吴鸿洋、忻忠英, 上海交通大学邹桂根, 华中工学院周维桢, 武汉测绘学院沈帮兴, 哈尔滨量具刃具厂刘更立等同志提出了宝贵意见, 在此谨致谢意。

由于我们水平有限, 书中难免存在缺点和错误, 欢迎读者批评指正。

编 者 1979年 12 月

目次

前言

第一章 仪器制造工艺的基本概念..... 1

§ 1-1 仪器制造生产过程的概念..... 1

一、生产过程..... 1

二、工艺过程..... 1

三、工艺过程的组成..... 1

四、生产类型..... 2

§ 1-2 制定工艺过程的几个问题..... 3

一、机械加工的经济精度..... 3

二、加工阶段的划分..... 5

三、编制工艺规程的基本原则..... 5

第二章 夹具设计基础..... 7

§ 2-1 工件加工时的定位..... 7

一、工件定位原理..... 7

二、工件的定位..... 11

§ 2-2 基准及定位基准的选择..... 12

一、基准的概念..... 13

二、定位基准的选择..... 14

三、尺寸换算..... 17

§ 2-3 工件的定位方法及定位元件..... 19

一、工件以平面定位..... 19

二、工件以外圆柱面定位..... 22

三、工件以内圆柱面定位..... 28

四、工件以两个内孔定位..... 31

§ 2-4 工件的夹紧..... 33

一、对夹紧装置的要求..... 34

二、夹紧力的方向..... 34

三、夹紧力作用点的选择..... 35

四、夹紧力的计算..... 36

五、夹紧装置..... 37

§ 2-5 典型夹具实例分析..... 47

第三章 机械加工精度..... 51

§ 3-1 基本概念..... 51

一、加工精度的含义..... 51

二、获得规定加工精度的方法..... 52

§ 3-2 影响机械加工的工艺因素..... 53

一、方法误差..... 53

二、机床的制造误差和磨损..... 53

三、夹具的制造误差和磨损..... 57

四、刀具的制造误差和磨损..... 58

五、工艺系统受外力影响

而引起的误差..... 59

六、工艺系统受温度影响

而引起的误差..... 67

七、工件内应力的重新分布..... 75

八、工件的安装误差、调整误差

和测量误差..... 77

§ 3-3 加工误差分析..... 78

一、加工误差的性质及误差合成..... 78

二、用统计方法分析加工精度..... 79

§ 3-4 机械加工的表面质量..... 90

一、表面质量的含义..... 90

二、表面质量对零件使用

性能的影响..... 91

三、影响表面质量的工艺因素

及其控制方法..... 93

四、工艺系统的振动..... 96

第四章 精密机械加工..... 104

§ 4-1 外圆精密加工..... 104

一、精密车削..... 104

二、磨削..... 105

三、镜面磨削..... 111

四、光整加工..... 112

五、外圆加工工艺方案比较..... 115

六、精密主轴工艺..... 115

§ 4-2 孔面精密加工..... 117

一、精铰..... 117

二、拉削（或推削）..... 119

三、精镗（高速细镗）..... 120

四、磨削..... 121

五、光整加工..... 123

六、薄壁套筒的孔面加工..... 126

七、孔系加工..... 127

八、孔加工工艺方案比较..... 128

§ 4-3 平面精密加工..... 129

一、细刨..... 129

二、磨削..... 130

三、研磨..... 132

四、刮研..... 133

五、平面加工工艺方案比较..... 134

六、导轨加工..... 135

§ 4-4 螺纹加工..... 136

一、概述..... 136

二、螺纹的精密车削	137	§ 6-5 激光加工	262
三、螺纹的磨削和研磨	148	一、激光打孔	263
四、精密丝杠的加工	154	二、激光切割	264
五、滚珠丝杠加工	156	§ 6-6 表面覆盖	264
§ 4-5 齿轮加工	158	一、金属覆盖层	264
一、概述	158	二、化学覆盖层	268
二、齿形的一般加工方法	159	三、油漆覆盖层	269
三、齿形的光整加工	175	第七章 装配与调整	270
四、精密蜗轮副(蜗杆、蜗轮)的加工	195	§ 7-1 概述	270
第五章 机械加工的自动控制	204	一、装配工艺过程的目的和内容	270
§ 5-1 机械加工的自动化	204	二、装配精度要求	270
§ 5-2 数字控制	206	三、装配精度与零件加工 精度的关系	271
一、基本概念	206	四、尺寸链原理的基本概念	274
二、程序编制	210	§ 7-2 解装配尺寸链	282
三、数控加工的经济性	222	一、完全互换法	282
四、数控加工系统的发展	224	二、不完全互换法(概率法)	289
§ 5-3 适应控制	227	三、分组互换法(分组装配法)	299
§ 5-4 随动控制	228	四、修配法	302
第六章 特种加工	231	五、调整法	303
§ 6-1 玻璃的光整加工	231	第八章 结构工艺性	306
一、零件的装夹方法	231	§ 8-1 概述	306
二、抛光辅料	233	一、结构工艺性的定义	306
三、抛光法	234	二、结构工艺性的指标	306
四、影响抛光质量和效率的因素	235	三、提高结构工艺性的一般原则	309
§ 6-2 刻划	238	§ 8-2 零件的结构工艺性	310
一、机械刻划	238	一、材料选择并减少消耗	310
二、机械—化学法刻划	242	二、减少零件重量	312
三、照相—腐蚀法刻划	245	三、毛坯的选择	314
四、照相—腐蚀法工艺	246	四、减少加工表面	316
五、真空镀铬法刻划	247	五、尺寸规格的标准化	317
六、光刻	249	六、合理地确定加工精度和光洁度	318
§ 6-3 电加工	253	七、正确标注尺寸	319
一、电化学加工	253	八、保证刀具的正常工作	321
二、电腐蚀加工	256	九、零件便于装夹	322
三、电子束加工	260	§ 8-3 仪器的结构工艺性	322
§ 6-4 超声机械加工	262	一、选择合适的仪器装配精度	322
一、超声机械加工的原理	262	二、选择合理的仪器联接方法	323
二、超声机械加工的特点 和使用范围	262	三、选择合适的零件数目	325

第一章 仪器制造工艺的基本概念

§ 1-1 仪器制造生产过程的概念

一、生产过程

任何一种产品都有各自的生产过程。生产过程是指由原材料到制成产品之间的各个相互联系的劳动过程的总和。它包括：原材料的运输和保存，生产技术的准备工作，毛坯的制造，零件的加工，部件和产品的装配、检验、试车、油漆和包装等。

仪器生产亦和其他产品生产一样，必须将上述生产过程中各个组成环节，作为一个“系统”来进行科学的全面安排，才能获得良好的技术和经济效果。将生产工艺、加工计划和管理等工作，作为整体的“生产系统工程” (Manufacturing Systems Engineering)，借助电子计算机来进行分析和控制，是当前值得重视的新兴学科之一。

在现代化生产中，某一产品的生产，往往由许多工厂联合完成，这样做，有利于零、部件的标准化和组织专业化生产。从而能在保证质量的前提下，提高劳动生产率和降低产品成本。

一个工厂的生产过程，又可分为各个车间的生产过程。一个车间的成品，往往又供应其他车间作为“原材料”使用。例如铸工车间的成品(铸件)，就是机械加工车间的“原材料”，而机械加工车间的成品，又是装配车间的“原材料”。

二、工艺过程

在车间生产过程中，不仅包括一些直接改变工件形状、尺寸(铸、锻、机械加工等)、物理性质(热处理)和装配等主要过程，还包括运输、保管、磨刀、设备维修等辅助过程。

生产过程中，直接改变工件形状、尺寸、物理性质和装配过程等这部分主要过程我们称之为工艺过程。因此，工艺过程又可分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、电镀、装配等工艺过程。这门课程的内容主要是研究机械加工工艺过程中的一系列问题。

工件可以采用不同的工艺过程来达到加工要求，车间根据工件产量、设备和技术情况等，所规定采用的工艺过程，并将有关内容写成工艺文件，这种文件就称为工艺规程。

工艺规程既经制订，有关人员就必须严格按工艺规程办事，以期达到优质、高产、低成本地完成工艺要求的目的。虽然，随着科学技术的发展，生产技术是不断发展的，但是，任何工艺规程的修订，必须经过充分的工艺试验，修改工艺文件时，需要经过一定的批审手续。

三、工艺过程的组成

要编制工艺规程，就要了解工艺过程的组成。工艺过程的基本组成部分是工序。

工序 在不改变操作者、设备(或工作地)和工件的情况下连续地完成的工作。

例如对图 1-1 所示工件，在成批生产时，可划分成下列四道工序来完成：

工序 1：两端打中心孔。

工序 2：粗车 A、B、C 段外圆。安装 1——粗车 A、B 段外圆；安装 2——粗车 C 段外

圆。

工序 3：精车 A 、 B 、 C 段外圆（要和粗车不在同一台车床上加工，或一批工件全部粗车后再进行精车，才能成为一个独立工序）。

安装 1——精车 A 、 B 段外圆；安装 2——精车 C 段外圆。

工序 4：铣 D 、 E 键槽（工件在一次安装下，利用分度头转 180° 来加工第二个键槽）。工位 1——铣键槽 D ；工位 2——铣键槽 E 。

由此可见，有时在同一个工序中有多次安装或包括几个工位。

安装 同一工序中每装卸一次工件称为一次安装。

工位 同一工序中，工件在机床上所占有的每一个位置称为工位。工序 4 中以分度头转位代替安装，不仅节省辅助时间，还能减少由于二次安装造成的误差。

工步 亦是工序的一部分，即加工表面、刀具、切削用量中的转速和进给均保持不变条件下所完成的工作。

例如工序 2 中车削 A 、 B 、 C 三段为三个工步。

如果 A 、 B 、 C 三段粗、精加工在同一台车床上连续完成，工作步骤是：先用粗加工车刀依次车出 A 、 B 两段，然后转动方刀架改用精车刀依次精车 A 、 B 两段，再调头，用同样方法粗、精车 C 段。这样粗、精车就成为同一工序下的六个工步，该工序的内容如下：

工序：粗、精车 A 、 B 、 C 三段。安装 1：粗、精车 A 、 B 段。工步 1——粗车 B 段；工步 2——粗车 A 段；工步 3——精车 B 段；工步 4——精车 A 段。安装 2：粗、精车 C 段。工步 5——粗车 C 段；工步 6——精车 C 段。

走刀 在一个工步中，有时金属层要分几次去除，则每切去一层金属称为一次走刀。

例如当 A 段直径比 B 段小得多时，则工步 2 粗车 A 段时要分两次走刀完成。多次走刀在外圆磨削时经常应用。

动作 指操作者或机床的每个单元动作。

例如一次走刀中有开车，趋近刀具，试切，测量，走刀，停车，退刀……等动作。

编制工艺规程时，应根据生产规模的大小来决定需要把工艺过程分析到什么程度。例如小规模生产时只要订到工序，而大规模流水线连续生产时，为了使每一道工序的时间尽量相等，以实现有节奏地生产，这时往往要分析每个动作，严格控制每一工序的时间。

四、生产类型

生产规模是影响工艺规程的重要因素。根据生产规模的大小，可以分为三种生产类型。

1. 单件、小批生产

每一产品只做一个或数个。一个工作地（机床）要进行多种工件和许多工序加工。

在这种生产类型下，大多采用万能机床（一般的车、铣、刨、钻、磨等机床）和通用工夹具（例如三爪卡盘、四爪卡盘、虎钳、分度头等）加工。同类机床往往成群排列，对操作者的技术要求较高。

专用仪器、大型仪器的生产和新仪器试制往往属于这种生产类型。

2. 成批生产

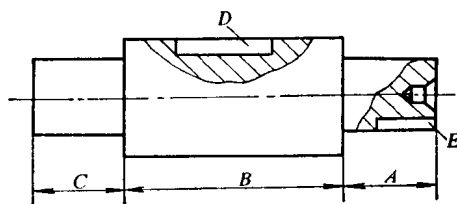


图 1-1

产品周期地成批投入生产。一个工作地（机床）顺序分批地完成不同工件的某些工序。

在这种生产类型下，亦大多采用万能机床，但工夹具比单件、小批生产更专用，机械化程度较高。

3. 大批、大量生产

产品连续不断地生产出来。每一工作地（机床）用重复的工序制造产品（大量生产），或以同样方式按期分批更换产品（大批生产）。

在这种生产类型下，往往采用为数众多的专用工夹具，有时还要采用专门设计制造的高效专用设备（非标准设备），各方面要求有较高的机械化和自动化程度，可由技术较低的工人来操作。但是在每次更换刀具和调整机床时需要技术较高的工人。

流水作业法可以节省大量花费在调整机床、更换工具和零件在工序间运输等的时间，因此，能提高生产效率和缩短加工周期。

制定流水作业法的工艺规程时，必须使每一道工序的时间相等，或者等于“节拍”的倍数。所谓“节拍”就是根据产量要求，允许生产一个成品占有的时间。“节拍”可由下式计算：

$$\tau = \frac{T}{N}$$

式中 τ ——节拍；

T ——规定的时间间隔（分钟）；

N ——要求在这段时间内生产的成品数量。

§ 1-2 制定工艺过程的几个问题

一、机械加工的经济精度

机械加工经济精度的概念相当重要。由于在机械加工过程中，影响加工精度的工艺因素很多。同一种加工方法，随着加工条件的改变，所能达到的加工精度亦异。如果，当我们采用某种加工方法加工工件时，不合理的过多降低了切削用量来提高加工精度，这样就会由于降低了劳动生产率而使产品成本增高。在制定零件的工艺过程时，必须将优质、高产、低成本诸方面统一加以考虑。

各种加工方法的加工误差和成本的关系如图 1-2 所示呈反比曲线形状，如图当加工误差小于 Δ_2 时，再提高一点加工精度，则成本将直线上升；而加工误差大于 Δ_3 时，虽误差大幅度增加，但成本降低甚少。因此，这种加工方法虽然亦能达到加工误差为 $\Delta_1 \sim \Delta_2$ 之间和 $\Delta_3 \sim \Delta_4$ 之间的精度，但仍不宜采用。而只是加工误差相当于 $\Delta_2 \sim \Delta_3$ 这样大小的加工精度范围，才是这种加工方法的经济精度范围。一般说来， Δ_2 和 Δ_3 的平均值 Δ_0 所对应的精度，就是这种加工方法的平均经济精度。

各种加工方法经济精度的参考数据如表 1-1 所示：

表中数据是指正常生产条件下能达到的经济精度，当加工条件改善时，可以达到更高精

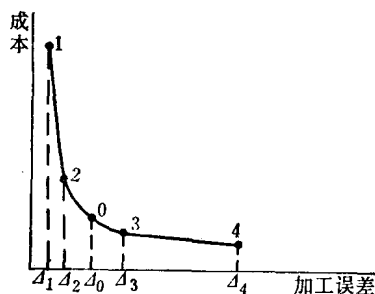


图 1-2

表1-1 各种加工方法经济精度的参考数据

加工方法	精度等级		公称尺寸为30~50时的误差(毫米)	
	平均经济精度	经济精度范围	平均经济精度	经济精度范围
粗车、粗镗和粗刨	7	6~8	0.34	0.1~0.62
半精车、半精镗和半精刨	6	5~6	0.17	0.1~0.2
精车、精镗和精刨	4	2~5	0.05	0.02~0.1
细车和金刚镗	2	1~3	0.017	0.01~0.03
粗 铣	6	5~7	0.17	0.1~0.34
半精铣和精铣	4	3~6	0.05	0.03~0.17
钻 孔	7	6~8	0.34	0.17~0.62
粗 铰	4	3~5	0.05	0.04~0.10
精 铰	2	1~3	0.027	0.01~0.04
拉 削	3	2~4	0.04	0.015~0.05
精 拉	2	1~2	0.027	0.01~0.03
粗 磨	5	4~6	0.10	0.05~0.17
精 磨	2	1~3	0.017	0.01~0.03
细磨(镜面磨)	1		0.008	0.002~0.011
研 磨	高于1级		<0.008	0.001~0.011

度。但当工件的长度和直径或长度和宽度之比很大时,则由于刚度大大降低,而精度亦要降低。

由于超精加工和抛光等加工方法,主要用来提高表面光洁度,其加工精度则决定于前道工序的精度,所以表中没有列入。

一般情况下,零件所要求的精度愈高则光洁度亦应愈高,但亦有例外。例如某些没有配合关系的零件(手把等),为了外形光滑美观,则光洁度要求较高,而无精度要求;某些具有相对运动零件的表面,为了有适当的空隙存放润滑油,而特地在光洁表面上加工出一些存油沟

表1-2 在各种机床上加工时几何形状的平均精度

机床类别	几何形状偏差(毫米)		
车 床	椭圆度	锥度(每300毫米长)	端面圆度
中心高<180	0.005	0.01	0.02
中心高<400	0.01	0.02	0.02
六角车床和自动车床	椭圆度	锥度(每300毫米长)	凹 度
	0.01	0.03	0.02
镗 床	孔中心线不平行度(每300毫米长) 一次安装中加工: 0.015~0.03 不同安装中加工: 0.02~0.10	孔中心线不垂直度(每300毫米长)	—
		0.02~0.03	
铣 床	平面不平度 精加工: 0.02~0.045	对基准面的不平行度(每100毫米长)	—
		0.025~0.05	
圆 磨 床	椭圆度	不直度(每100毫米长)	—
	0.005	0.01~0.02	
平 面 磨 床	—	不平度(每100毫米长) 小型机床: 0.01 大型机床: 0.025~0.05	—

槽。

在各种机床上加工时，几何形状的平均精度可参考表 1-2。

经济精度概念只提供某种加工方法，在某个精度范围内是可供选择的加工方法。一般情况下，我们所要求获得的某一加工精度，往往属可于数种加工方法的经济精度范围之内。如果，我们想选择其中最经济的一种加工方法，就需要进行全面的经济分析。如图 1-3 所示，I、II、III 为三种加工方法的加工误差——成本曲线图，当要求加工精度为 Δ_x 时：加工方法 II 的加工成本 Q_{II} 最低，加工方法 I 其次，而加工方法 III 的加工成本最高。从图中还能看出：当加工误差小于 Δ_1 时，选用加工方法 I 最经济；当加工误差大于 Δ_2 时，则选用加工方法 III 最经济；而加工误差在 $\Delta_1 \sim \Delta_2$ 之间时，则选用加工方法 II 最经济。

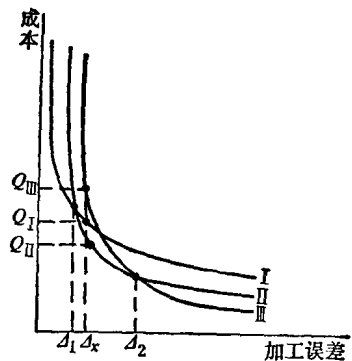


图 1-3

必须指出，表 1-1 所列的经济精度数据不是一成不变的。随着机床、刀具、夹具和检测技术的不断改进，特别是近年来计算机技术、激光技术、数字显示技术引入机械加工领域，使某些工种的加工精度和生产率不断提高，成本不断降低。

二、加工阶段的划分

从表 1-1 可知，我们可以通过粗车、半精车、精车、细车等步骤，将外圆用车削加工方法从 7 级精度提高到 2 级精度。但是，如果我们将上述工作完全集中在一台车床上用一道工序通过多次走刀来完成，那就是不经济合理的方案。因为，这时所用的机床必须既具有高功率又具有高精度。这样，在粗加工时就容易损坏机床精度，而在细加工时又不能充分利用机床的功率。

实践证明，零件的机械加工工艺过程一般可划分为以下阶段：粗加工阶段，精加工阶段，细加工阶段和光整加工阶段。根据零件加工表面的精度要求、结构和产量的不同，采用其中一个或数个阶段来完成加工，才能获得良好的经济效果。

将工艺过程划分成为几个阶段的主要考虑为：

1. 及时发现毛坯缺陷 粗加工时，既可切除大部分加工余量，还能发现毛坯内部的缺陷，及时报废或进行修补，以免浪费工时甚至影响生产计划的完成。
2. 使粗、精加工各得其所 粗加工时可用大功率机床，采用粗加工刀具，选择大的切削用量，着眼于快速去除大部分加工余量；而精、细加工时，则用高精度的机床和工艺装备，严格控制各项有关工艺因素，以获得加工精度为主要目的。例如将各个表面的精密加工集中在最后阶段，采用较小的夹紧力和切削用量，可减少由于加工中弹性变形和热变形等对加工精度的影响。

三、编制工艺规程的基本原则

产品在正式投产前，应该进行充分的工艺准备工作，其内容包括：编制工艺规程，专用刀具和夹具的设计、制造，编制检验规程和其他必要的技术规范和说明书。

编制工艺规程是工艺准备工作的第一项工作，同时亦是最重要的一项工作。编制工艺规

程的基本原则是：如何保证以最低的成本和最高的效率来达到工件工作图上的全部尺寸和技术要求。这个原则包括以下三方面的要求：

1. 技术要求 工艺规程应全面可靠地保证达到工作图上的尺寸精度、形状精度、位置精度、表面质量和其他技术要求。

2. 生产率要求 在保证工件的技术要求的前提下，如何能以较少的工时，完成工件的加工。

3. 经济要求 就是要在保证质量和完成生产任务的条件下，如何使生产成本最低。主要是按前面所述经济精度概念来选择加工方法。一般说来，就是要选择平均经济精度值接近于我们要求达到精度的加工方法。如果这时有数种加工方法可供选择时，除可用定量经济分析外，亦可根据经验和具体生产条件作定性分析。

第二章 夹具设计基础

在本章所讲的“夹具”是指机床夹具。

所谓机床夹具就是在机械加工中保证被加工工件相对刀具有正确的位置，并且在加工过程中不使此位置发生变化的机床附加装置。

机床夹具可分为两大类：专用夹具和通用夹具。专用夹具是专为某工件加工过程中某一工序而设计的，而通用夹具则有通用性质，可以用来加工各种形式各种尺寸的零件。如车床的卡盘、花盘，铣床的平口钳、分度头等。

使用机床夹具可达到的目的为：提高机床的生产率，降低对工人等级的要求，扩大机床的使用范围。

§ 2-1 工件加工时的定位

机床夹具在机械加工中必须保证被加工工件相对于刀具所占据的正确位置，这就是定位问题。以下从两个方面来讨论这个问题。

一、工件定位原理

任何一个工件在空间不受限制时可占据任何位置，也就是说它具有六个自由度。如果用空间坐标系来表示这六个自由度时，它们是沿直角坐标系三个轴的移动和绕三个轴的转动。如图 2-1 所示方形工件 A ，其沿 X 、 Y 和 Z 轴的移动以 $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 和 $\vec{Z}$ 表示之；绕 X 、 Y 和 Z 轴的转动以 $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 和 $\vec{Z}$ 表示之。

如果想使此工件在空间占据一定的位置，就必须消除此工件的六个自由度。此时可用相当于六个点的定位元件来定位。以六点限制工件六个自由度的方法一般称为“六点定位原则”。

如图 2-2 所示，工件底面 A 用三个支承点支承，这样可以消除工件三个自由度。即 $\vec{Z}$ 、 $\vec{Y}$ 和 $\vec{X}$ ；在侧面 B 放两个支承点可以消除两个自由度。即 $\vec{Z}$ 和 $\vec{X}$ ；在工件的后表面 C 放一个支承点则消除一个自由度 $\vec{Y}$ 。于是以六个支承点消除了工件的六个自由度。如果工件是其它

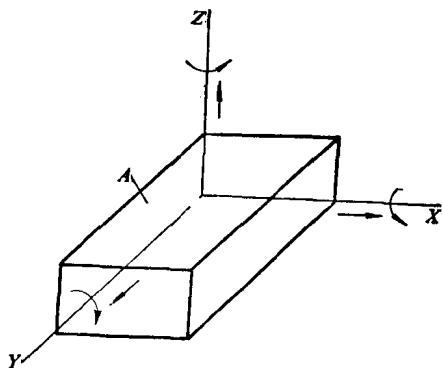


图 2-1

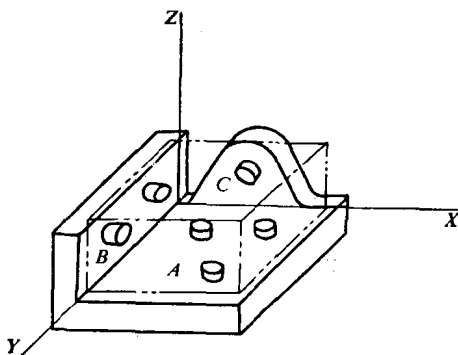


图 2-2

形状的, 则此六点的布置稍有不同。如图 2-3 所示的盘形工件, 底面上三个支承点消除了三个自由度, 即 $\vec{Z}$ 、 $\vec{X}$ 和 $\vec{Y}$ 。侧面与后面各一支承点各消除一个自由度, 即 $\vec{X}$ 和 $\vec{Y}$ 。另外用一销钉置于圆盘形工件的槽内限制了工件的 $\vec{Z}$ 。又如图 2-4 所示圆柱形工件。在定位时支承点的布置如下: 侧面共用 4 个支承点消除 4 个自由度。即 $\vec{X}$ 、 $\vec{Z}$ 、 $\vec{Z}$ 和 $\vec{X}$ 。端面用一个支承点消除一个自由度 $\vec{Y}$ 。只余下一个自由度 $\vec{Y}$, 再由伸入槽里的销钉消除。

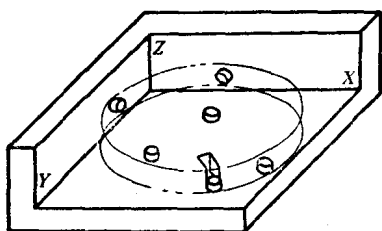


图 2-3

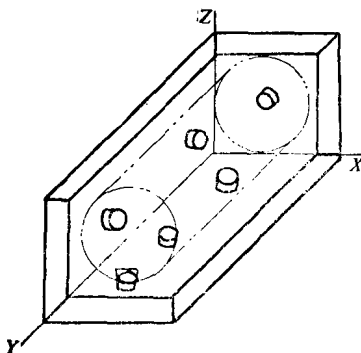


图 2-4

在研究六点定位原则时, 常常有人认为六个支承点没有完全消除六个自由度。以图 2-2 为例认为 B 面两个支承点只消除了工件向 X 轴负方向移动的可能, 而工件还能向 X 轴正方向移动; 同样 A 面三个支承点与 C 面一个支承点也是如此。显然, 这是对定位概念的错误理解。六点定位原则所讲的是使用六个支承点以后, 工件在空间就可占据一定的位置 (只要求工件同时与六个支承点接触), 而且无论将此工件放置多少次, 它所占据的位置仍然是唯一的一个位置。至于在加工过程中如何保证工件始终与支承点接触, 那是夹紧的任务。“夹紧”与“定位”是两个不同的概念, 研究时应予以分开, 不要混淆。在实际生产中, 像上面讲的支承点都是采用各种支承元件。如图中的支承钉和支承板等。绝对的点是无法应用的。

在实际加工中有时在工件定位时不一定要将六个自由度全部消除, 而是根据加工要求决定限制那几个自由度。如图 2-5 a 所示一平板工件欲保证加工尺寸 A , 并且获得上表面的光洁度, 在平面磨床上磨削时只需消除 $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 和 $\vec{Z}$ 即可。其它自由度不必限制。又如图 2-5 b 在铣床上加工欲获得尺寸 B 及 C 。此时只需消除五个自由度 (除 $\vec{Y}$ 以外), 即可保证获得尺寸 B 和 C 。因此在实际加工中, 根据加工要求不同有时不全部消除六个自由度。这不仅是允许的, 而且是应该的。

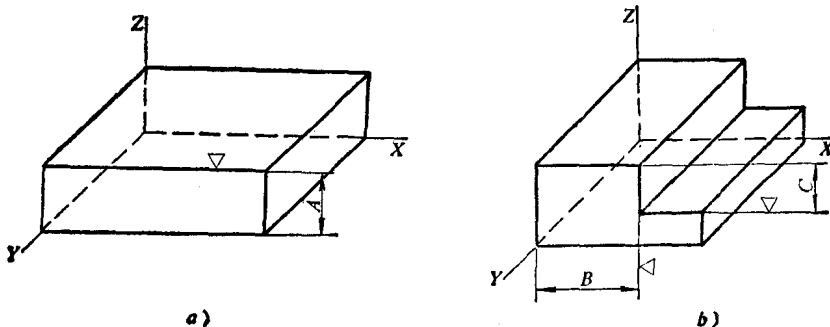


图 2-5

但是在加工过程中如果定位时没有把应消除的自由度消除掉,这是不允许的。这种情况称之为“欠定位”。欠定位的结果必然会导致工件部分加工技术要求不能保证。如图 2-6 所示,工件如按图上定位方式加工,就产生了“欠定位”现象。V 形块定位相当于四个支承点,取消了四个自由度 $\vec{Z}$ 、 $\vec{Z}$ 、 $\vec{Y}$ 和 $\vec{Y}$, 还余下两个自由度: $\vec{X}$ 、 $\vec{X}$ 。加工不要求消除 $\vec{X}$, 结果还有一个自由度 $\vec{X}$ 没消除, 所以没保证需要的尺寸 C 。因此在夹具设计时要防止欠定位现象发生。

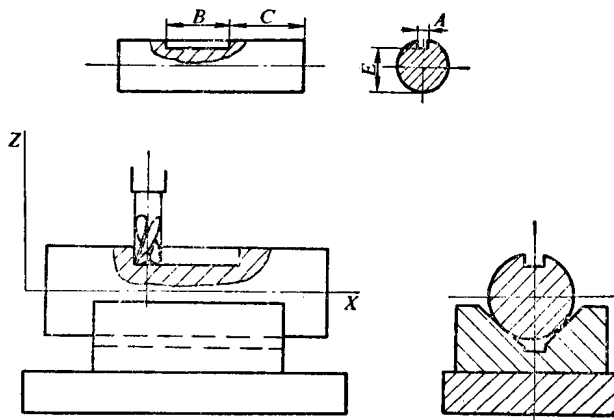


图 2-6

在夹具设计时,还会出现使用多余的支承点的情况,也就是同一个自由度由几个支承点同时来限制的问题,这就是“超定位”。一般情

况下,超定位会造成工件定位的不确定,即工件不能占据一个确定的位置。如图 2-7 a 所示情况符合六点定位原则,因此工件只能占据一个唯一的位置 I,定位是合理的。但是如图 2-7 b 所示情况,工件用 7 个支承点来定位。出现了一个多余的支承点 1 或 2。由于夹具制造误差会使支承点 1、2 长短不齐。此时我们将工件放上去,可能是与支承点 2、3 和 4 接触而占据位置 I。但是再次放置时工件也可能是与支承点 1、2 和 4 接触,而占据位置 II。这说明了有“超定位”现象时,反使工件位置不一定了,这就破坏了六点定位原则。又如图 2-8 所示连杆加工情况,以底面做支承面相当于三个支承点消除三个自由度 $\vec{Z}$ 、 $\vec{X}$ 和 $\vec{Y}$, 以长圆柱销 1 定位相当于四个支承点消除四个自由度 $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 、 $\vec{X}$ 和 $\vec{Y}$, 又以销钉 3 消除一个自由度 $\vec{Z}$, 此时相当于 8 个支承点。在消除自由度 $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 时用了重复的支承点。因此产生了“超定位”现象。因为在制造夹具时圆柱销 1 可能不完全垂直于底面 2, 总有一定误差。如果连杆上与圆柱销 1 相配合的孔径等于圆柱销直径时(即没有配合间隙), 则连杆位置完全由圆柱销决定, 连杆不能与底面 2 完全接触。加压后可能完全接触, 但工件或者圆柱销会变形。如果配合孔径大于圆柱销 1 的直径, 则连杆又可能与底面 2 完全接触, 占据与前者不同的位置, 结果使工件位置不一定了。

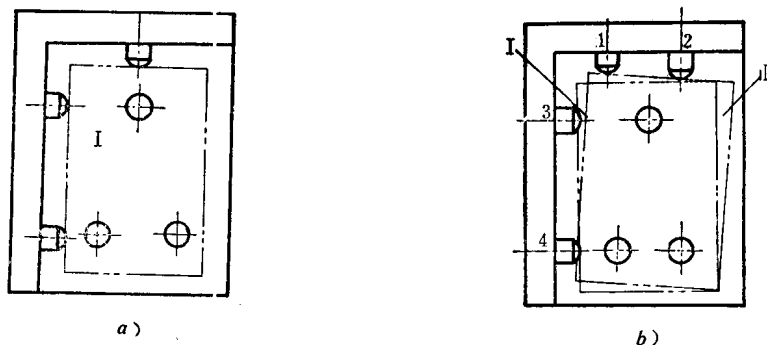


图 2-7

因此,在设计夹具时,一般是不允许“超定位”现象出现的。

但这也不是绝对的,在生产实践中也还可以看到“超定位”的应用。例如在精加工的工序中常以一个精确平面代替三个支承点来支承已加工过的平面。从理论上讲一个平面相当无数个点的总和,但是当此平面制造得很平时,工件放上去就只能有一个位置,所以相当于三个支承点的作用了。这样做的好处是刚性好,可以减少振动。但是,只有在相接触的两个表面(夹具的支承面和工件上的被支承面)都很精确时才行。其中任意一个表面不精确时都不能占据一定的位置。又如图 2-9 所表示的齿轮加工情况。为了消除插齿时的振动,除内孔用心轴定位以外,还用端面定位。此时心轴消除了四个自由度,而端平面又消除三个自由度,很显然这是“超定位”现象。但是,心轴外圆面与支承端平面制造得很精确,垂直度误差很小,当工件内孔与端面的垂直度误差也很小时,如此定位办法既能使工件位置一定,又能消除振动,所以在生产中“超定位”的情况还是有时采用的。

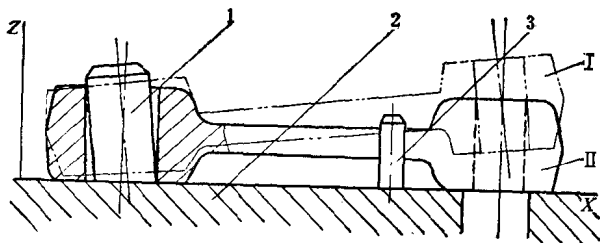


图 2-8

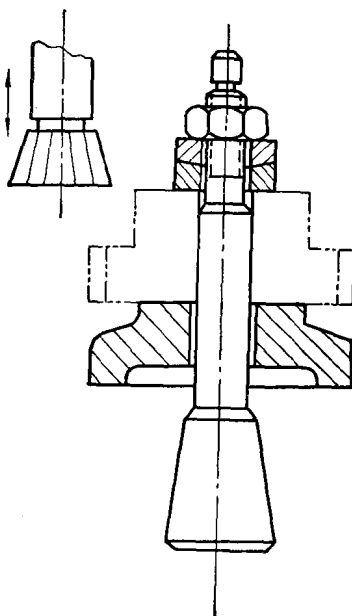
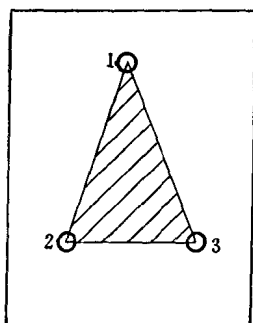
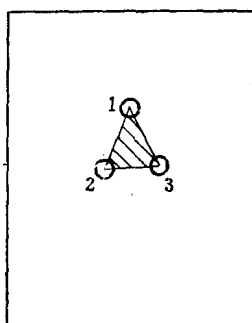


图 2-9

以上所研究的内容是支承点的数目问题。为了工件在夹具中能很好地定位,对于工件某一表面用几个支承点以及支承点如何分布的问题还需要加以研究。如图 2-2 上工件的 A 面,它由三个支承点支承。这个表面在加工中一般承受较大的切削力和夹紧力。它常常被称之为主定位面。由于定位面定位时要求工件保持稳定,为此要求三个支承点分布时,彼此应尽量地远些。此时三个支承点所形成的三角形的面积大,切削力或夹紧力不容易超出它的范围,因此工件比较稳定。如图 2-10 a 所示的支承点布局,工件就稳定;而图 2-10 b 所示的支承



a)



b)

图 2-10

点相距很近, 工件不稳定。

又如图 2-2 上有两个支承点的 B 面, 通常称之为导向定位面, 它主要起引导方向的作用。用两个支承点来消除两个自由度 (即一个转动, 一个移动)。为了很好地限制它的转动, 应使两个支承点相距愈远愈好, 并要求工件上作为导向定位面的表面为狭长形状。

又如图 2-2 上工件的表面 C 只有一个支承点, 它可以限制一个移动的自由度, 通常称表面 C 为止推定位面。一般选工件上最短最狭的表面作为止推定位面。由于在切削加工过程中此表面的支承元件将承受切削力和冲击, 所以要求它具有一定的刚度, 并且把它放在 C 面的中心上。

二、工件的定位

工件的定位不仅仅是工件在夹具中占据正确的位置, 还包括夹具与机床、刀具在加工中的相对位置。因此设计夹具时除了要考虑定位元件以外, 还要设计对刀-引导元件及夹具在机床上的定位元件。夹具的对刀-引导元件的作用是用来确定刀具对工件的相对位置、进给方向和消除或减少刀具在加工过程中的偏斜误差。如图 2-11 所示钻模, 是用来加工锥齿轮销孔 $\phi 2D_3$ 的。其定位元件是圆柱销 1 和夹具体 4 的一个平面, 两者共消除 5 个自由度。根据加工要求只需消除 5 个自由度, 所以不存在超定位及欠定位问题。压块 3 为夹紧元件, 它保证在加工过程中工件的正确位置不发生变化。钻套 2 是对刀-引导元件, 它的作用就是引导钻头在夹具固定的位置上钻孔, 并可防止或减少因切削力、振动等原因所产生的偏斜。同时也决定了钻头与工件的相对位置。这个作用主要是由设计夹具时就已使钻套相对定位元件 1 保持一定的位置关系, 这种关系是通过夹具体 4 来保持的。因此工件安装在定位元件上, 钻头用钻套来导向时就能保证工件相对刀具占据正确位置。对刀-引导元件还包括铣床夹具的对刀块。它的外形有: 直角、平板、V 形等等。一般把它装在夹具体上, 而与工件加工表面保持一定的距离, 并以 3~5 毫米的塞尺来调整这一距离。刀具位置不应由刀具本身直接在对刀块上调整, 以免刀刃与对刀块摩擦而增加刀具和对刀块的磨损。如图 2-12 a 、 b 所示: 1 为对刀块, 2 是铣刀, 3 是塞尺, 4 是被铣的工件。

有时只有对刀的引导元件还不足以确定刀具与工件的正确位置, 还需要增加夹具与机床联系的元件, 如图 2-13 所示的铣床夹具, 用来铣制工件上 2 毫米宽的槽。图上零件 1 既是定位元件也是对刀-引导元件。件 1 上有稍宽于铣刀的槽。当夹具装在铣床工作台上之后,

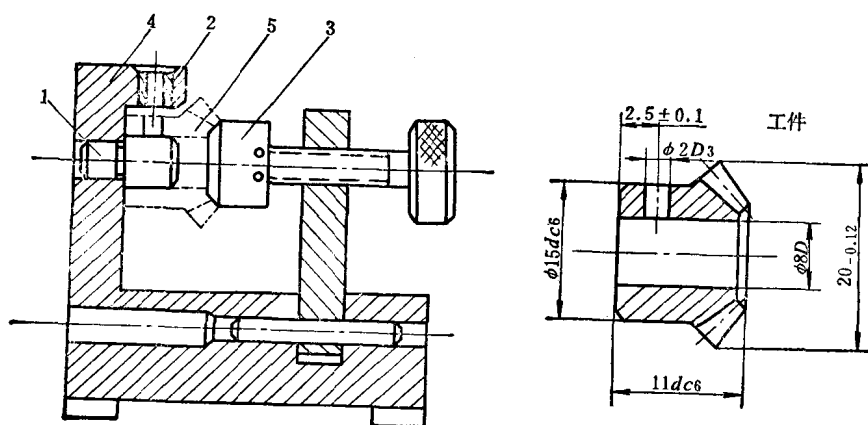


图 2-11