

# 机械制造工艺 与夹具 (第3版)

◆ 主编 卞洪元



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 机械制造工艺与夹具

(第3版)

主 编 卞洪元  
副主编 崔益银 陈为华  
主 审 张 勇

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺与夹具 / 卞洪元主编. -- 3 版. -- 北京 : 北京理工大学出版社, 2021.7  
ISBN 978 - 7 - 5763 - 0124 - 3

I. ①机… II. ①卞… III. ①机械制造工艺 - 高等学校 - 教材②机床夹具 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH16  
②TG75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 153604 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 376 千字

版 次 / 2021 年 7 月第 3 版 2021 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 68.00 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 辛丽莉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

## 第3版前言

《机械制造工艺与夹具》是高等职业教育“十三五”创新型规划教材。本书于2010年2月由北京理工大学出版社正式出版后，一直受到全国广大职业院校的普遍欢迎。为使本书能够进一步反映新理念、融合新内容、体现新教法，更好地服务于职业院校的“三教”（教师、教材、教法）改革，切实践行教育部关于在职业院校推行“教学诊改”工作的重要思想，不断提升教育教学质量，在总结本书第2版使用实践的基础上，修订、编写了本书第3版。

本次修订本着推陈出新、扬优补缺的原则，继续保持第2版的框架结构、特色、原有基本内容和经典内容的论述，更注重知识的必要性和实用性，突出理论、实训与实践紧密结合，注重联系生产实际和强化应用，同时根据高等职业教育发展与改革的新形势及最新国家标准，进一步精选和修订教学内容，适量增加了先进制造工艺、智能制造等相关内容，对培养高素质的高等职业技术人才奠定必要的机械制造工艺方面的基础，在培养学生的工程意识、创新思维、运用规范的工程语言、技术信息与解决工程实际问题的能力方面，进行全新、全面的探索。

参加本书修订工作的有江苏联合职业技术学院盐城机电分院卞洪元（第1、3、6、7章，全书统稿和修改）；江苏联合职业技术学院盐城机电分院崔益银（绪论、第5章），江苏省盐城技师学院陈为华（第2、4章）；河北机电职业技术学院张勇。本书由卞洪元任主编，崔益银、陈为华任副主编，张勇任主审。

由于编者水平有限，书中的缺点、错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

## 绪 论

机械制造业是国民经济的物质基础和产业主体，是国家科技水平和综合实力的重要标志，是以信息化带动和加速工业化的主导产业，是科技的基本载体和孕育母体，是在新科技革命条件下实现科技创新的主要舞台，是国家国际竞争力的重要体现，是世界产业转移和调整的承接主体，决定着中国在经济全球化格局中的国际分工地位。大机器制造业的发展，将有助于塑造工业文明的道德基础和市场经济秩序。因此，机械制造业的技术水平和规模是衡量一个国家科技水平和经济实力的重要标志。

经过多年的发展，我国机械制造业已取得很大成绩，逐步形成了基本产品门类齐全、配置比较合理的机械制造工业体系。它不仅为国民经济制造普通机械、农业机械、运输机械、电力机械、重型机械、仪表及各种机床等机械产品，也制造农业机械化、电力工业、煤炭工业、冶金工业、交通运输、石油工业及港口等大型成套设备。随着科学技术的发展，在高新技术产品的开发方面也取得了长足的进步，如 20 - 100GM500NC 超重型数控龙门铣床、PJ - 1 喷漆机器人、SX041 大规模集成电路光栅数显仪、300 t 立式弯板机、125 t 液压起重机、数控平面磨床等新产品都达到了世界先进水平。

我国机械制造业虽然取得了很大成绩，但与工业发达国家相比，在生产能力、技术水平、管理水平和劳动生产率等方面还有很大差距。因此，我国机械制造业今后的发展除不断提高常规机械生产的工艺装备与工艺水平外，还必须研究开发优质、高效精密装备与工艺，为高新技术产品的生产提供新工艺、新装备，同时须加强基础技术研究，消化和掌握引进技术，提高自主开发能力，从而形成常规制造技术与先进制造技术并进的机械制造工业结构。

机械制造业的生产能力主要取决于机械制造装备的先进程度，产品性能和质量的好坏则取决于制造过程中工艺水平的高低。将设计图样转化成产品，离不开机械制造工艺与夹具，因而它是机械制造业的基础，是生产高科技产品的保障。离开了它，就不能开发制造出先进的产品和保证产品质量，不能提高生产率、降低成本和缩短生产周期。

机械制造工艺与夹具课程是以机械制造中的工艺和工装设计问题为研究对象的一门应用性制造技术学科。所谓工艺，是使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程，机械制造工艺是各种机械的制造方法和过程的总称。在生产过程中，用来迅速、方便、安全地装夹工件的工艺装备，称为夹具。所谓制造技术学科，就是在深入了解实际的基础上，利用各种基础理论知识，经过实事求是地分析和对比，找出客观规律，解决面临的工艺问题的学科。机械生产中制造工艺是最活跃的因素，它既是构思和想法，又是实实在在的方法和手段，因此，机械制造工艺过程的分析和研究，如何科学地、优质、高产、低耗生产各类机械产品及装备，并最终落实在由机床、刀具、夹具和工件组成的工艺系统中是本课程的重点。机械制造工艺与夹具课程包含和涉及的范围很广，如零件的毛坯制造、机械加工及热处理和产品的装

配等,且需要多门学科的支持,同时又和生产实际紧密联系,本课程主要从质量(精度、寿命)、劳动生产率(先进的工艺方法和装备、先进的生产组织和管理方法)和经济性等几个方面进行研究,即在保证产品质量的前提下实现高生产效率和获得良好的经济效益。

机械制造工艺与夹具课程是机械类各专业的一门主要专业课。通过本课程的学习及相关实践教学环节的训练,学生初步具备分析和解决机械制造工艺问题的能力。本课程的基本要求如下:

(1) 掌握机械制造工艺的基本理论(包括定位和基准理论、工艺和装配尺寸链理论、加工精度和误差分析理论、表面结构和机械振动理论等)。

(2) 掌握机床夹具的基本理论,并合理使用。

(3) 具有制定中等复杂零件的机械加工工艺规程、设计夹具和制定一般产品的装配工艺规程的初步能力。

(4) 了解现代(先进)制造技术的新成就、发展方向和一些重要的现代(先进)制造技术,以扩大视野、开阔思路、提高工艺等制造技术水平和增强人才的竞争力及就业能力。

本课程虽只涉及机械制造工艺中最基本的理论知识,然而,无论工艺水平发展到何种程度,都和这些基本理论知识有着密切的关系。因此,必须学好本课程,为今后的工作实践中不断增加工艺知识,提高分析和解决工艺等制造技术问题的能力打下坚实基础。

本课程既是机械制造专业的一门重要专业课程,又是综合多门课程知识进行应用、研究,解决生产实际工艺问题的归结性课程,理论与实际联系密切。本课程的内容来自生产和科研实践,而工艺理论的发展又促进和指导生产的发展。学习机械制造工艺学的目的在于应用,在于提高工艺水平。因此,要多下工厂、多实践,要重视试验、生产实习和专业实习。有了一定的感性知识,就容易理解和掌握工艺学的概念、理论和方法。在学习过程中,要着重理解和掌握基本概念及其在实际中的应用,要多做习题和思考题,要重视课程设计。机械制造工艺学是制造技术学科中的核心内容,属“软技术”范畴,特别是工艺理论和工艺方法的应用灵活性很大。因此,学习时要善于综合运用已学过的专业基础课和专业课,深入接触社会,了解我国的经济政策和亚洲及世界的经济形势,拓宽知识面,根据具体条件和情况,实事求是地进行辩证的分析。

## 本门课程对应岗位

机械制造工艺与夹具课程是以机械制造中的工艺和工装设计问题为研究对象的一门应用性制造技术学科，是工科院校机械类各专业必修的专业课。本门课程适合高职高专机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业理论及技能的教学和培训。通过学习本课程，可以掌握机械制造工艺与夹具的基本理论，获得零件加工工艺的基础知识及基本技能，为学习其他相关课程和将来从事机械加工方面的工作奠定必要的工艺基础。

## 岗位需求知识点

1. 机械制造工艺的基本理论：加工定位原理与定位基准的选择方法；工艺尺寸链和装配尺寸链的计算方法及应用；加工精度与表面结构控制等。
2. 机械制造工艺的基本知识：工艺过程设计的基本知识；机床夹具的基本知识；装配工艺过程设计的方法；机械制造工艺过程的技术经济分析及提高劳动生产率的途径。
3. 机械加工过程的一般工艺问题。
4. 机械制造领域中先进制造技术的应用及发展趋势。

# 目 录

第1章 机械加工工艺规程的制定	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 生产过程、机械加工工艺过程和机械加工工艺系统	1
1.1.2 机械加工工艺过程的组成	2
1.1.3 生产纲领与生产类型	4
1.2 机械加工工艺规程的制定	6
1.2.1 工艺规程概述	6
1.2.2 工艺规程制定	9
1.3 零件的结构工艺性分析和技术要求分析	10
1.3.1 零件的结构工艺性分析	10
1.3.2 零件的技术要求分析	10
1.4 毛坯的选择	12
1.4.1 毛坯的类型及特点	12
1.4.2 毛坯选择的原则	12
1.5 定位基准的选择	13
1.5.1 基准的概念及分类	13
1.5.2 工件的定位	15
1.5.3 定位基准的选择	20
1.6 工艺路线的拟定	24
1.6.1 加工方法的选择	24
1.6.2 加工顺序的安排	28
1.6.3 设备与工艺装备的选择	30
1.7 确定加工余量	31
1.7.1 加工余量的概念	31
1.7.2 影响加工余量的因素	32
1.7.3 确定加工余量的方法	33
1.8 工序尺寸及其公差的确	34
1.8.1 基准重合时工序尺寸及其公差的计算	34
1.8.2 基准不重合时工序尺寸及其公差的计算	34
1.9 工艺过程的技术经济性分析	39
1.9.1 工艺成本的分析 and 评比	39

1.9.2 相对技术经济指标的评比	41
本章小结	42
思考题与习题	42
<b>第2章 机床夹具</b>	<b>45</b>
2.1 概述	46
2.1.1 机床夹具概念	46
2.1.2 机床夹具的作用	47
2.1.3 机床夹具的分类	48
2.1.4 机床夹具的组成	48
2.2 工件在夹具中的定位	49
2.2.1 定位与定位基准	49
2.2.2 定位基准的选择	49
2.2.3 夹具的夹紧装置和定位元件	49
2.2.4 定位误差分析与计算	54
2.3 工件的夹紧	58
2.3.1 夹紧装置的组成及基本要求	58
2.3.2 夹紧装置的选用原则	59
2.3.3 基本夹紧机构	62
2.3.4 复合夹紧机构	63
2.4 典型机床专用夹具	65
2.4.1 车床夹具	65
2.4.2 铣床夹具	71
2.4.3 钻床夹具	74
2.4.4 镗床夹具	79
2.5 现代机床夹具简介	82
2.5.1 机床夹具现代化发展方向	82
2.5.2 组合夹具	83
2.5.3 数控机床夹具	86
2.5.4 自动线夹具	89
本章小结	92
思考题与习题	93
<b>第3章 机械加工精度</b>	<b>95</b>
3.1 概述	95
3.1.1 机械加工精度的概念	95
3.1.2 加工误差的来源和原始误差	96
3.2 工艺系统的几何误差	96
3.2.1 加工原理误差	96

3.2.2 机床几何误差	97
3.2.3 刀具误差	101
3.2.4 夹具误差和装夹误差	101
3.2.5 调整误差	101
3.2.6 测量误差	101
3.3 工艺系统的受力变形	101
3.4 工艺系统热变形引起的加工误差	108
3.4.1 概述	108
3.4.2 机床热变形对加工精度的影响	109
3.4.3 工件热变形对加工精度的影响	110
3.4.4 刀具的热变形对加工精度的影响	110
3.4.5 减少工艺系统热变形的途径	111
3.5 工件内应力引起的加工误差	113
3.5.1 毛坯制造中产生的内应力	113
3.5.2 冷校直带来的内应力	114
3.5.3 切削加工的附加应力	114
3.5.4 减少或消除内应力的措施	114
3.6 保证加工精度的工艺措施	115
3.6.1 直接减少误差法	115
3.6.2 误差补偿法	116
3.6.3 误差转移法	116
3.6.4 就地加工法	116
3.6.5 误差分组法	117
3.6.6 误差平均法	117
3.6.7 控制误差法	117
本章小结	120
思考题与习题	121
<b>第4章 机械加工表面结构</b>	<b>123</b>
4.1 概述	123
4.1.1 表面结构的主要内容	124
4.1.2 表面结构对零件使用性能的影响	126
4.2 影响加工表面粗糙度的工艺因素及改善措施	128
4.2.1 切削加工影响表面粗糙度的因素	128
4.2.2 磨削加工影响表面粗糙度的工艺因素及其改善措施	130
4.3 影响加工表面物理力学性能的因素	132
4.3.1 表面层物理力学性能	132
4.3.2 表面层的加工硬化	133
4.3.3 表面层金相组织的变化	133

4.3.4	表面层的残余应力 .....	135
4.4	机械加工中的振动 .....	136
4.4.1	机械振动现象及其分类 .....	136
4.4.2	机械加工中的受迫振动与抑制措施 .....	137
4.4.3	机械加工中的自激振动及其控制 .....	138
	本章小结 .....	143
	思考题与习题 .....	144
<b>第5章</b>	<b>典型零件加工工艺</b> .....	<b>145</b>
5.1	轴类零件加工工艺 .....	146
5.1.1	概述 .....	146
5.1.2	轴类零件加工工艺概述 .....	147
5.1.3	典型轴类零件加工工艺分析 .....	150
5.2	套筒类零件加工工艺 .....	155
5.2.1	概述 .....	155
5.2.2	套筒类零件加工工艺过程及分析 .....	157
5.3	箱体零件加工 .....	161
5.3.1	概述 .....	161
5.3.2	箱体零件的加工工艺 .....	164
5.3.3	箱体的加工工艺分析 .....	167
5.3.4	箱体零件加工工艺过程 .....	171
5.4	圆柱齿轮加工工艺 .....	176
5.4.1	概述 .....	176
5.4.2	圆柱齿轮加工工艺分析 .....	178
5.4.3	圆柱齿轮的加工工艺过程 .....	181
5.5	数控加工 .....	183
5.5.1	概述 .....	183
5.5.2	数控加工工艺分析 .....	184
5.5.3	数控的加工工艺过程 .....	186
	本章小结 .....	192
	思考题与习题 .....	193
<b>第6章</b>	<b>机械装配工艺基础</b> .....	<b>194</b>
6.1	概述 .....	194
6.1.1	装配的概念 .....	194
6.1.2	装配工艺的内容 .....	195
6.2	机械产品的装配精度 .....	196
6.3	装配尺寸链 .....	197
6.3.1	基本概念 .....	197

6.3.2 装配尺寸链的建立 .....	197
6.3.3 装配尺寸链的计算 .....	198
6.4 保证装配精度的方法 .....	199
6.4.1 互换装配法 .....	199
6.4.2 选配装配法 .....	200
6.4.3 修配装配法 .....	201
6.4.4 调整装配法 .....	203
6.5 装配的生产类型和组织形式 .....	204
6.5.1 装配生产类型及特点 .....	204
6.5.2 装配组织形式 .....	205
6.6 装配工艺规程的制定 .....	206
6.6.1 制定装配工艺规程应遵循的原则 .....	206
6.6.2 制定装配工艺所需的原始资料 .....	206
6.6.3 装配工艺规程的内容 .....	206
6.6.4 制定装配工艺规程的步骤 .....	207
6.7 装配工艺规程编制实例 .....	209
6.7.1 主轴部件的结构 .....	209
6.7.2 主轴部件的装配技术要求 .....	210
6.7.3 主轴部件的装配工艺过程 .....	210
本章小结 .....	212
思考题与习题 .....	212
<b>第7章 现代机械制造工艺技术</b> .....	<b>214</b>
7.1 成组技术 .....	215
7.1.1 概述 .....	215
7.1.2 零件的分类编码系统 .....	216
7.1.3 零件分类成组的方法 .....	221
7.1.4 成组工艺的设计方法 .....	223
7.1.5 成组生产的组织形式 .....	224
7.2 计算机辅助工艺设计 .....	225
7.2.1 概述 .....	225
7.2.2 CAPP 的类型 .....	226
7.2.3 CAPP 的数据库 .....	227
7.3 柔性制造系统 .....	227
7.3.1 概述 .....	227
7.3.2 柔性制造系统的组成 .....	228
7.3.3 FMS 中的机床设备和夹具 .....	228
7.3.4 自动化仓库 .....	229
7.3.5 物料运载装置 .....	229

7.3.6 刀具管理系统 .....	229
7.3.7 控制系统 .....	229
7.4 计算机辅助制造和计算机集成制造系统 .....	230
7.4.1 计算机辅助制造 (CAM) .....	230
7.4.2 计算机集成制造系统 (CIMS) .....	231
7.5 智能制造 .....	232
7.5.1 智能制造概述 .....	232
7.5.2 智能制造技术 .....	232
7.5.3 智能制造系统 .....	233
7.5.4 智能制造的应用和发展 .....	234
本章小结 .....	237
思考题与习题 .....	238

# 第 1 章

## 机械加工工艺规程的制定

### 本章知识点

- 1. 生产过程的基本概念；
- 2. 工艺规程及其制定原则、原始资料、制定步骤；
- 3. 制定工艺规程时要解决的主要问题。

### 先导案例

加工如图 1-1 所示的一批零件，试确定其加工工艺路线。

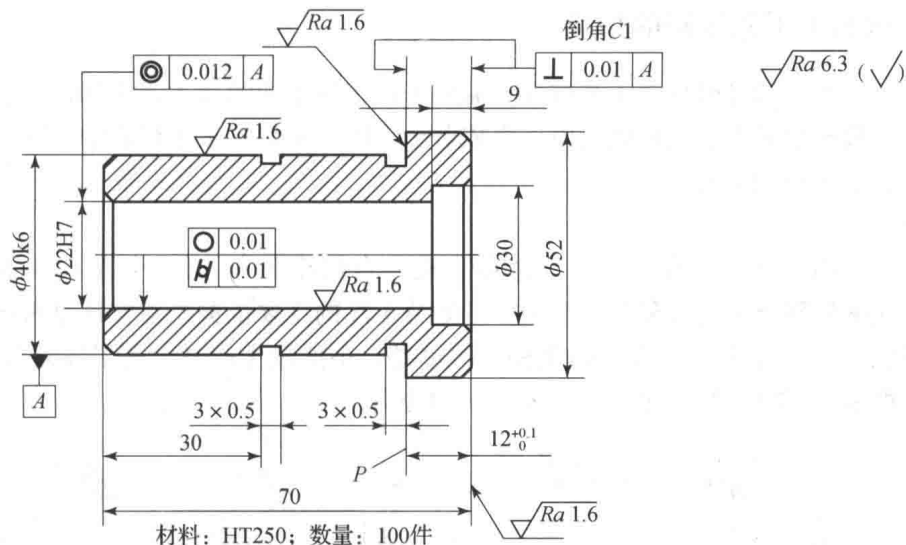


图 1-1 套类零件

## 1.1 基本概念

### 1.1.1 生产过程、机械加工工艺过程和机械加工工艺系统

#### 1. 生产过程

机械产品的生产过程是将原材料转变为成品的全过程。它包括原材料的运输和保管、生

产技术准备过程、毛坯制造过程、机械加工过程、热处理过程、装配过程、检验过程、喷涂和包装过程等。各种机械产品的具体制造方法和过程是不相同的,但生产过程大致可分为三个阶段,即毛坯制造、零件加工和产品装配。

## 2. 机械加工工艺过程

机械产品的生产过程是一个十分复杂的过程,在这些过程中,改变生产对象的形状、尺寸、相对位置及性质,使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。它是生产过程的主要部分,主要包括铸造、锻造、冲压、焊接、热处理、机械加工等。利用机械加工的方法,直接改变毛坯的形状、尺寸和表面结构,使其转变为成品的过程,称为机械加工工艺过程。

## 3. 机械加工工艺系统

零件进行机械加工时,必须具备一定的条件,即要有一个系统来支持,称为机械制造系统。

在机械制造系统中,机械加工所使用的机床、工具、夹具和工件组成一个相对独立的统一体,称为机械加工工艺系统。机床是指加工设备,如车床、铣床、磨床等,也包括钳工台等钳工设备。工具指的是各种刀具、磨具、检具,如车刀、砂轮、游标卡尺等。夹具是指机床夹具。工件是被加工对象。机械加工工艺系统可以是单台机床,也可以是由多台机床组成的生产线。

机械加工工艺系统本身的性能和状态对工件的质量影响极大,也是本课程研究的主要对象。

# 1.1.2 机械加工工艺过程的组成

要完成一个零件的机械加工工艺过程,需要采用多种不同的加工方法和设备,通过一系列加工工序。机械加工工艺过程就是由一个或若干个顺序排列的工序组成的,而工序又可分为安装、工位、工步和走刀。

## 1. 工序

一个(或一组)工人,在一个工作地点(或一台机床上),对一个(或一组)零件连续加工所完成的那部分工艺过程,称为工序。划分工序的主要依据是工作地是否改变和加工是否连续完成。图1-2所示为阶梯轴简图。当单件、小批量生产时,其工序划分按表1-1进行;当大批量生产时,其工序划分按表1-2进行。

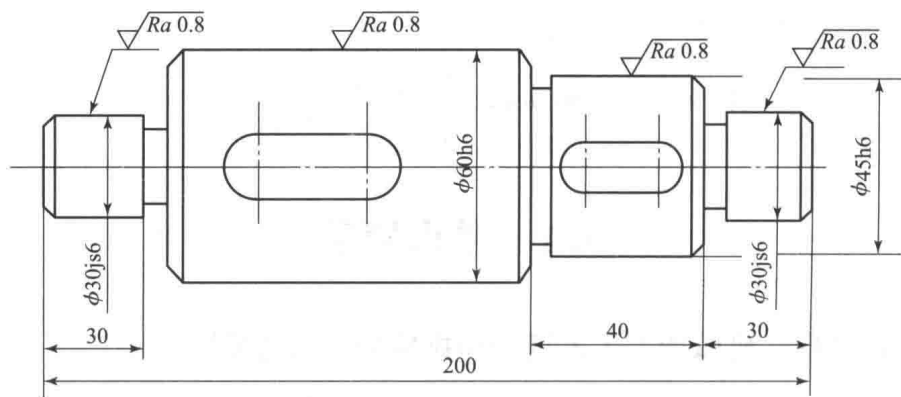


图1-2 阶梯轴简图

表 1-1 单件、小批量生产的工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	车端面, 钻中心孔	车床
2	车外圆, 切槽和倒角	车床
3	铣键槽, 去毛刺	铣床
4	磨外圆	磨床

表 1-2 大批量生产的工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	两边同时铣端面, 钻中心孔	铣端面钻中心孔机床
2	车一端外圆, 切槽和倒角	车床
3	车另一端面, 切槽和倒角	车床
4	铣键槽	铣床
5	去毛刺	钳工台
6	磨外圆	磨床

工序不仅是制定工艺过程的基本单元, 也是制定时间定额、配备工人、安排作业计划和进行质量检验的基本单元。

## 2. 工步

在一个工序中, 当加工表面不变、切削工具不变、切削用量中的进给量和切削速度不变的情况下所完成的那部分工艺过程称为工步。以上三种因素中任一因素改变后, 即成为新的工步。一个工序可以只包括一个工步, 也可以包括几个工步。如表 1-1 中的工序 1, 加工两个表面, 所以有两个工步。表 1-2 中的工序 4 只有一个工步。

为简化工艺文件, 对于那些连续进行的若干个相同的工步, 通常都看作一个工步。如加工图 1-3 所示的零件, 在同一工序中, 连续钻 4 个  $\phi 15$  mm 的孔就可看作一个工步。为了提高生产率, 用几把刀具或复合刀具同时加工几个表面, 也可看作一个工步, 称为复合工步。如表 1-2 中铣端面、钻中心孔; 每个工位都是用两把刀具同时铣两端面或钻两端中心孔, 它们都是复合工步。在工艺文件上, 复合工步应视为一个工步。

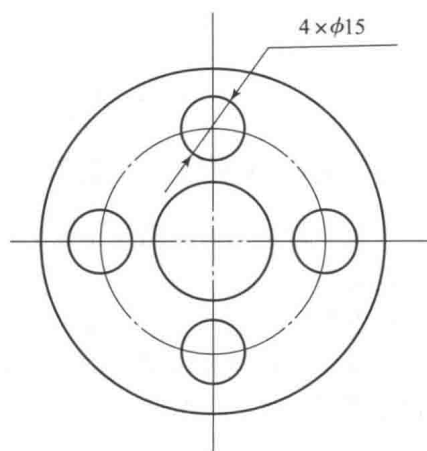


图 1-3 简化相同工步的实例

### 3. 走刀

在一个工步内,若被加工表面需切去的金属层很厚,就可分几次切削,每进行一次切削就是一次走刀。一个工步可包括一次或几次走刀。

### 4. 安装

工件在加工之前,在机床或夹具中占有正确位置的过程称为定位。工件定位后将固定不动的过程称为夹紧。将工件在机床或夹具中定位、夹紧的过程称为安装。在一道工序中,工件可能被安装一次或多次,才能完成加工。如表1-1中的工序1要进行两次安装:先装夹工件一端,车端面、钻中心孔,称为安装1;再调头装夹,车另一端面、钻中心孔,称为安装2。工件在加工中,应尽量减少安装次数,多一次安装,就会增加定位和夹紧误差,还会增加安装时间。

### 5. 工位

在批量生产中,为了提高劳动生产率,减少安装次数、时间,常采用回转夹具、回转工作台或其他移位夹具,使工件在一次安装中先后处于不同的位置进行加工。工件在机床上所占据的每一个待加工位置称为工位。图1-4所示为利用回转工作台或转位夹具,在一次安装中顺利完成装卸工件、钻孔、扩孔、铰孔4个工位加工的实例。采用这种多工位加工方法可以提高加工精度和生产率。

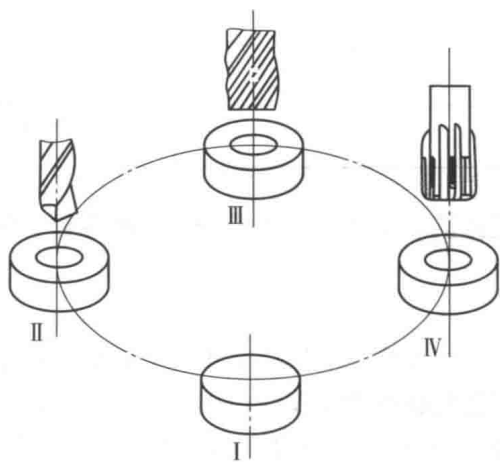


图1-4 多工位加工

工位I—装夹工件; 工位II—钻孔; 工位III—扩孔; 工位IV—铰孔

## 1.1.3 生产纲领与生产类型

机械制造工艺过程的安排取决于生产类型,而企业的生产类型又是由企业产品的生产纲领决定的。

### 1. 生产纲领

企业在计划期内应当生产的产品数量和进度计划称为生产纲领。零件的年生产纲领可按下式计算:

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

式中  $N$ ——零件的年产量,单位为件/年;

$Q$ ——产品的年产量,单位为台/年;