



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

机械加工工艺 基础与实习

(机械类专业适用)

张亮峰 主 编

赵建树 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

9c13/12

机械加工工艺 基础与实习

(机械类专业适用)

张亮峰 主 编

赵建树 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京)112 号

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

本书主要包括:零件的加工质量与检验、切削加工的基本知识、常规机械加工方法(包括车削,钻、镗削,刨、插、拉削,铣削,磨削等)、典型和特型表面加工方法及选择、特种加工方法、现代机械制造技术、零件的结构工艺性、机械加工工艺过程的基本知识。各章后附有适量的习题与思考题,有的章后还附有实习或实验内容。

本书内容精练,重点突出,注重理论联系实际,内容力求更新,采用了最新国家标准。

本书可作为高等专科学校、高等职业学校、成人教育学院机械类专业用教材,也可供电大、职大、函大等同类专业选用,还可作为相关教学改革试点专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械加工工艺基础与实习/张亮峰主编. —北京:高等教育出版社, 1999.10
ISBN 7-04-007966-6

I. 机… II. 张… III. 金属加工-工艺 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 37265 号

机械加工工艺基础与实习(机械类专业适用)

张亮峰 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国科学院印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787×960 1/16

版 次 1999 年 10 月第 1 版

印 张 19.25

印 次 1999 年 10 月第 1 次印刷

字 数 350 000

定 价 20.40 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据教育部高等专科学校面向 21 世纪“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”研究项目中应达到的教学基本要求而编写的。

本书内容共分十二章,包括零件的加工质量与检验,切削加工的基本知识,车削加工,钻削和镗削加工,刨、插、拉削加工,铣削加工,磨削及光整加工,典型和特型表面加工方法及选择,特种加工方法,现代机械制造技术,零件的结构工艺性,机械加工工艺过程的基本知识等。各章后附有适量的习题与思考题,有的章后还附有实习或实验内容。教学参考时数为 30 学时。

本书编写特点如下:

(1) 根据本课程实践性很强这一特点,本书将理论知识、金工实习和实验内容合并在一起,内容体系完全不同于以前的同类教材。本教材既可用于实习中讲学,也可在课堂上讲授。

(2) 紧密结合教学基本要求,教材内容精练、重点突出,取材力求更新,对传统的教学内容进行了必要的调整和增删,并注意了与金工实习教学的分工与配合。

(3) 侧重应用理论和应用技术,强调知识的应用性、针对性。全书以零件的机械加工方法为主线,认真分析其加工的质量、成本、效率及应用性;在零件的结构工艺和加工工艺分析中,选用了应用性较强的典型实例。

(4) 认真贯彻执行国家有关标准。书中的名词、术语、图表、符号、单位采用了最新国家标准和法定计量单位。

(5) 介绍了机械加工的新技术、新工艺和发展趋势。

本书可作为高等专科学校、高等职业学校、成人教育学院机械类专业教材,亦可作为开设本课程的其他专业的选用教材,还可供电大、职大、函大等同类专业选用。此外,也可作为相关教学改革试点专业的参考书。

本书由湘潭机电高等专科学校张亮峰任主编,洛阳工业高等专科学校赵建树任副主编。参加编写的有(按编写顺序)湘潭机电高等专科学校张亮峰(绪论、第三~八章)、洛阳工业高等专科学校赵建树(第一章、第二章、第十一章)、华北航天工业学院曹玉生(第九章)、南京机械高等专科学校贺曙新(第十章)、上海理工大学工业技术学院陈彩凤(第十二章)、洛阳工业高等专科学校

校任晓雯（第四章的钳工实习）。

本书由哈尔滨理工大学工业技术学院司乃钧教授担任主审。

在整个编写过程中，我们参阅了以前各种版本的同类教材及有关资料、技术标准等，在此恕不一一列举，谨致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，且编写时间仓促，书中不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

1999年5月

责任编辑	杨宪玲
封面设计	张楠
责任绘图	李维平
版式设计	马静如
责任校对	马桂兰
责任印制	宋克学

目 录

绪论	1
第一章 零件的加工质量与检验	3
第一节 零件的加工质量	3
第二节 零件的质量检验	8
习题与思考题	12
第二章 切削加工的基本知识	13
第一节 切削加工的运动分析及切削要素	13
第二节 金属切削刀具	17
第三节 金属切削过程	24
第四节 磨具与磨削过程	33
第五节 切削加工的技术经济性	38
第六节 金属切削机床的分类和型号编制	43
实验一 车刀几何角度的测量	48
实验二 切削用量对表面粗糙度的影响	53
习题与思考题	55
第三章 车削加工	57
第一节 车床	57
第二节 车刀	64
第三节 车削加工方法	66
第四节 车削工艺特点及车削技术发展简介	72
第五节 车工实习	74
习题与思考题	87
第四章 钻削、镗削加工和钳工	89
第一节 钻削加工	89
第二节 镗削加工	95
第三节 钳工实习	99
习题与思考题	127
第五章 刨削、插削和拉削加工	129
第一节 刨削和插削加工	129
第二节 拉削加工	134
第三节 刨工实习	138

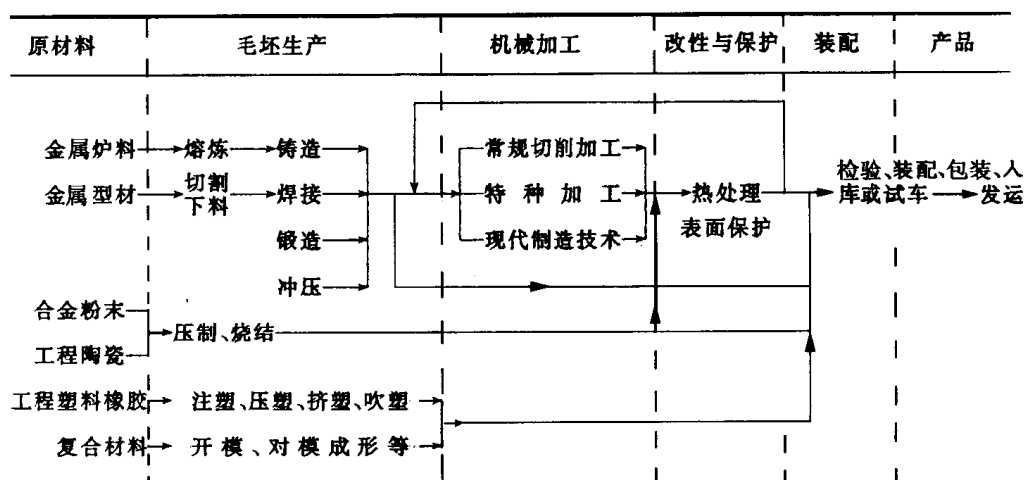
习题与思考题	142
第六章 铣削加工	144
第一节 铣床	144
第二节 铣床附件及铣刀	146
第三节 铣削过程	151
第四节 铣削工艺特点及铣削技术发展简介	157
第五节 铣工实习	158
习题与思考题	165
第七章 磨削及光整加工	166
第一节 磨削加工	166
第二节 光整加工	176
第三节 磨工实习	181
习题与思考题	184
第八章 典型和特型表面的加工方法及选择	186
第一节 典型表面的加工方法及选择	186
第二节 特型表面的加工方法及选择	191
习题与思考题	204
第九章 特种加工方法	206
第一节 概述	206
第二节 电火花加工	207
第三节 电火花线切割加工	212
第四节 电解加工	214
第五节 超声加工	216
第六节 激光加工	218
实验一 电火花穿孔加工	220
实验二 线切割加工	222
习题与思考题	224
第十章 现代机械制造技术	225
第一节 概论	225
第二节 数控加工技术	227
第三节 精密和超精密加工技术	235
第四节 切削加工新技术	237
第五节 非金属材料切削加工	242
习题与思考题	246
第十一章 零件的结构工艺性	247
第一节 概述	247
第二节 零件结构的切削加工工艺性	248
第三节 零、部件的装配工艺性	255

习题与思考题	259
第十二章 机械加工工艺过程的基本知识	261
第一节 基本概念	261
第二节 装夹与基准	266
第三节 机械加工工艺规程的制定	279
习题与思考题	293
主要参考文献	296

绪 论

机械制造是各种机械制造过程的总称。机械制造工业是生产机械零件及将它们组装成机器设备、仪器或工具的工业，它是国民经济的技术装备部。我国要实现“四化”，就必须用现代化的先进技术装备来满足农业、工业、国防和科学技术部门不断发展的需要。因而，机械制造工业在国民经济发展中具有重要的地位和明显的超前性。

机械制造过程包括原材料和能源供应、毛坯生产、机械加工、改性与防护、检验、装配与包装等过程，如下面框图所示。



毛坯生产和机械加工过程是直接改变生产对象即零件的形状、尺寸、相互位置的加工方法。毛坯通常用铸造、锻压、焊接等热加工方法生产，所获得的毛坯一般表面比较粗糙，尺寸精度低，具有一定技术要求的零件表面都需要进行机械加工，才能达到质量要求。因此，在机械制造工业中，机械加工占有十分重要的地位。

机械加工一般分为切削加工和特种加工两大类。切削加工是利用切削工具从毛坯上切除多余的材料，使其成为具有一定的形状、尺寸精度和表面质量要求的合格零件的加工方法。它具有较高的生产率，并能获得较高的精度和表面质量。切削加工又可分为机械切削加工和钳工等。特种加工则是指那些不属于传统加工工艺范畴的加工工艺方法。它是将电、磁、声、光等物理能量及化学能量或其组合直接施加在被加工工件的加工部位上，从而使材料被去除、变

形、改变性能等。

随着科学技术的发展,现代的机械产品对组成零件的精度和表面质量提出了越来越高的要求。如何不断地满足这些产品的加工质量要求,是机械加工业所面临的重大课题。

目前,我国的机械加工方式已从原来普通的“单人、单机、单刀”的操作加工和简易自动化加工发展为多种高效自动设备的自动加工,各种加工的生产线和自动线正逐年增多。与此同时,精密加工技术也得到了迅速发展,加工精度已提高到 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 。并且,由于计算机在机械制造中的广泛应用,促进了机械制造的发展,使机械工业发生了巨大变化。数控机床(CNC)、群控(DNC)、加工中心(MC)、工业机器人(ROBOT)以及柔性制造系统(FMS)等的出现和发展,标志着我国的机械加工技术已进入了一个崭新的时代。

“机械加工工艺基础与实习”是机械类工程技术人员必修的一门主干技术基础课,也是工科近机类(如电机、电器、数控等)专业人员必修的一门综合性技术基础课。

本书中,将主要介绍切削加工的基本知识、常用的机械加工方法与实习、零件的结构工艺性以及加工工艺过程的基本知识,并介绍特种加工和现代机械制造技术等内容。

通过本课程的学习,应达到如下基本要求:

- (1) 掌握主要切削加工方法的实质、工艺特点及应用范围;
- (2) 熟悉主要切削加工方法所用的设备、刀具和附件的结构、使用场合;
- (3) 初步掌握零件结构工艺性的基本原则,熟悉各种加工要求的典型实例;
- (4) 了解制订机械加工工艺过程的基础知识,具有选择简单零件加工方法的初步能力;
- (5) 了解与本课程有关的新技术、新工艺;
- (6) 了解在机械加工过程中确保加工质量的前提下,提高生产率、降低生产成本以保证经济效益的途径和方向。

本课程实践性很强,教学过程中要充分利用电化教学和计算机辅助教学手段,并安排一些现场教学和参观,以增强直观性,使学生在学好基本内容的基础上进一步扩宽视野,丰富知识。

课程中零件结构工艺性等知识,尚需在有关后续课程,特别是课程设计、毕业实习和毕业设计中多次训练和提高,才能真正掌握和独立应用。

第一章 零件的加工质量与检验

每一种机械产品都是由许多互相关联的零件装配而成的。只有采用加工质量合格的零件，才能使其装配后达到规定的性能要求并满足零件之间的配合关系和互换性能。零件的加工质量指标包括加工精度和表面质量两方面，其中后者主要是指表面粗糙度。为了保证质量，机械产品中的每个零件必须依据图样制造，零件是否符合图样要求，只有通过测量工具检验才知道。

第一节 零件的加工质量

一、加工精度

加工精度是指零件在加工后，其尺寸、形状和相互位置等参数的实际数值与设计时给定的数值相符合的程度。相符合的程度越接近，则加工精度越高。加工精度包括尺寸精度、形状精度和位置精度。

1. 尺寸精度

尺寸精度是指零件实际加工的尺寸与设计给定的尺寸相符合的程度，它是由尺寸公差控制的。公差是尺寸允许的变动量，公差越小，精度越高；反之，精度越低。国家标准（GB/T 1800—1998、GB/T 1804—92）规定尺寸精度分为20级，分别用IT01、IT0、IT1、IT2直至IT18表示。IT01精度最高，IT0～IT18中，IT后面的数值越大，精度越低。

设计零件时，首先应根据零件结构尺寸的重要程度，确定选用哪一级公差等级。其次还应考虑本厂的设备条件和加工费用的高低等因素。总之，选择公差等级的原则是在保证产品能达到技术要求的前提下，选用较低一级精度的公差等级。

2. 形状精度和位置精度

形状精度和位置精度是指零件表面实际形状和位置与理想形状和位置相符合的程度。为了保证机器零件的正确装配，有时单靠尺寸精度来控制零件的几何形状是不够的，如图1-1所示，以 $\phi 25_{-0.014}^0\text{mm}$ 轴为例，在加工中，虽然工件尺寸保持在尺寸精度范围内，却可能加工成几种不同形状，所以还必须有形状精度和位置精度来控制零件的几何形状。国家标准（GB/T 1182—1996～GB/T 1184—1996）规定形位公差分为14项，其分类、项目及符号如表1-1

所示。

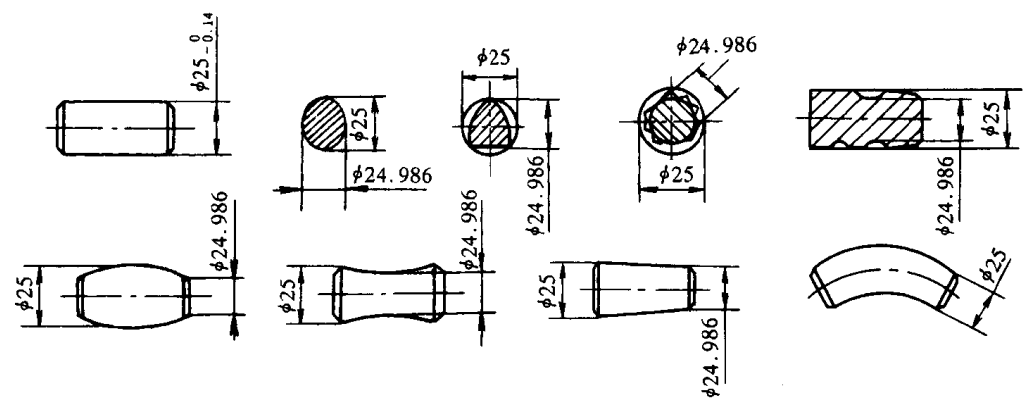


图 1-1 轴的形状误差

表 1-1 形位公差分类、项目及符号

分类	项目	符号	分类	项目	符号
形状公差	直线度	—	位置公差	平行度	//
	平面度	▭		垂直度	⊥
	圆度	○		倾斜度	∠
	圆柱度	⊘		同轴度	◎
形状或位置公差	线轮廓度	⌒		对称度	≡
	面轮廓度	⌒		位置度	⊕
			跳动	圆跳动	↗
				全跳动	↗↗

在图样上标注形位公差时，要根据零件的具体要求，考虑加工的经济性，确定被测要素的公差值。如果用一般机床加工时能保证形位公差要求，则在图样上不必标出，一般也不检查。对形位公差要求高的零件，应在图样上标注。形位公差等级分为 1~12 级，1 级最高，公差值最小，12 级最低。同级精度中，形位公差值随零件基本尺寸的增大而增大。

选择形位公差值时，在满足零件功能要求的条件下，应考虑选择最经济的

等级。

二、表面粗糙度

表面粗糙度是指零件加工表面存在着由较小间距的峰谷组成的微量高低不平度。它是由于切削加工中的振动、刀刃或磨粒摩擦等留下的加工痕迹。它与零件的耐磨性、配合性质、抗腐蚀性有密切关系，影响到机器的使用性能、寿命和制造成本。

1. 表面粗糙度的评定参数

国家标准 (GB/T 1031—1995) 规定了表面粗糙度的评定参数及数值。评定参数主要有以下两种：

(1) 轮廓算术平均偏差 它是在取样长度 l 内，轮廓偏距 y 的绝对值的算术平均值 (图 1-2)，用 R_a 表示。其数学表达式为：

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

或近似值：

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

式中： y ——轮廓任意点到中线的距离；

y_i ——轮廓第 i 个取样点到中线的距离；

l ——取样长度；

n ——取样点数。

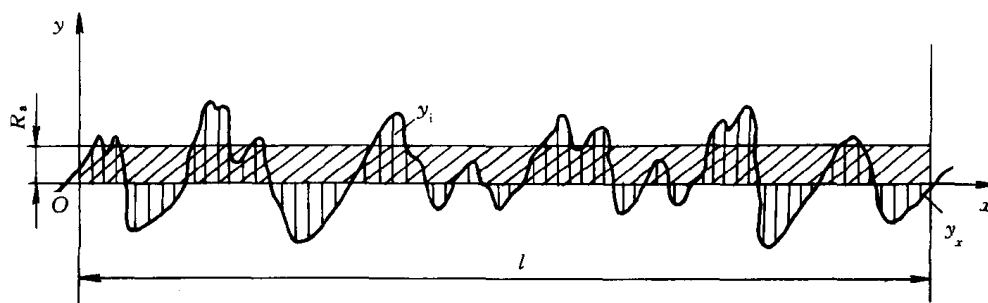


图 1-2 轮廓算术平均偏差 R_a

(2) 微观不平度十点高度 它是在取样长度 l 内，五个最大的轮廓峰高的平均值与五个最大的轮廓谷深的平均值之和 (图 1-3)，用 R_z 表示。其数学表达式为：

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right)$$

式中: y_{pi} ——第 i 个最大轮廓峰高;

y_{vi} ——第 i 个最大轮廓谷深。

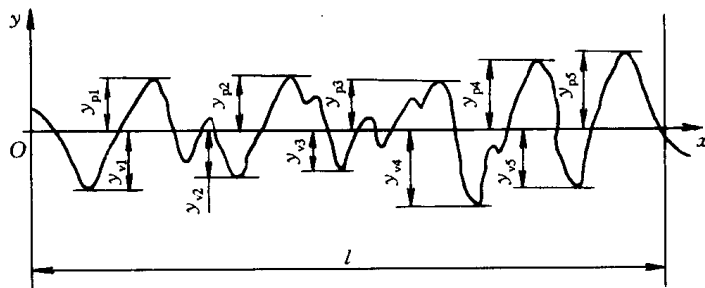


图 1-3 微观不平度十点高度

2. 表面粗糙度的标注方法

表面粗糙度的基本符号如下:

✓——用去除材料的方法获得的表面, 如车、铣、刨、磨等;

▽——用不去除材料的方法获得的表面, 如铸件、锻件、型材等毛坯的表面。

零件图上表面粗糙度的标注如图 1-4 所示。

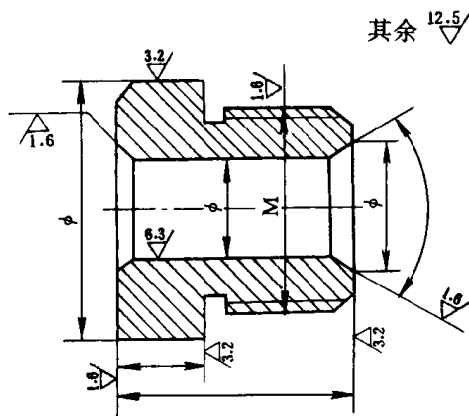


图 1-4 零件图上表面粗糙度的标注

三、图样上的标注示例

尺寸公差、形位公差及表面粗糙度在零件图上的标注如图 1-5 所示。

四、各种加工方法与精度等级、表面粗糙度的关系

各种加工方法能达到的精度等级见表 1-2。各种加工方法与表面粗糙度、精度等级的关系见表 1-3。

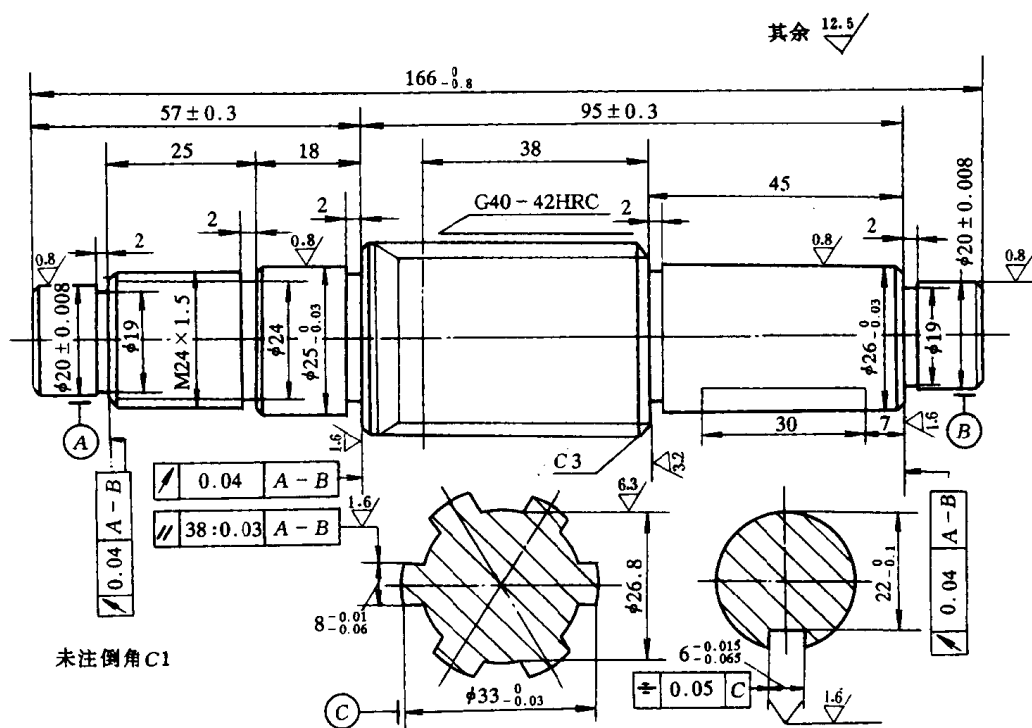


图 1-5 阶梯轴

表 1-2 各种加工方法能达到的精度等级

加工方法	公 差 等 级																	
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
研 磨	○	○	○	○	○	○	○											
珩 磨						○	○	○	○									
外圆磨							○	○	○	○								
平 磨							○	○	○	○								
金刚石车							○	○	○									
金刚石镗							○	○	○									
拉 削							○	○	○	○								
铰 孔								○	○	○	○	○						
车									○	○	○	○	○					
镗									○	○	○	○	○					
铣										○	○	○	○					
刨、插												○	○					

表 1-2 (完)

加工方法	公 差 等 级																	
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
钻削												○	○	○	○			
滚压、挤压												○	○					
冲压												○	○	○	○	○		
压铸													○	○	○	○		
粉末冶金成型								○	○	○								
粉末冶金烧结									○	○	○	○						
砂型铸造、气割																		○
锻造																	○	

表 1-3 各种加工方法与表面粗糙度、精度等级的关系

表面要求	加工方法	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	标准公差 IT	表面特征
不加工		—	IT18 ~ IT14	铸件、锻件、冲压件、型材毛坯表面
粗加工	粗车、粗铣、粗刨、粗 铰、粗镗、钻	50	IT13 ~ IT10	明显可见刀痕
		25	IT10	可见刀痕
		12.5	IT10 ~ IT8	微见刀痕
半精加工	半精车、精铣、精刨、 拉、铰、铰、精镗、粗磨	6.3	IT10 ~ IT8	可见加工痕迹
		3.2	IT8 ~ IT7	微见加工痕迹
		1.6	IT8 ~ IT7	不见加工痕迹
精加工	精车、精细车、精铣、 精刨、磨、珩磨、刮、高速 精铣、宽刃精刨	0.8	IT8 ~ IT6	可辨加工痕迹的方向
		0.4	IT7 ~ IT6	微辨加工痕迹的方向
		0.2	IT7 ~ IT6	不辨加工痕迹的方向
光整加工	精密磨削、超精磨、超 级光磨、研磨、镜面磨	0.1	IT7 ~ IT5	暗光泽面
		0.05	IT6 ~ IT5	亮光泽面
		0.025	IT6 ~ IT5	镜状光泽面
		0.012	—	雾状镜面
		0.008	—	镜面

第二节 零件的质量检验

加工的零件是否符合图样规定的技术要求，需使用适当的测量工具即量