

21 世纪高等院校应用型规划教材

机械制造基础 技能训练

主 编 张贻摇
副主编 张文开

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

机械制造基础技能训练又称金工实训,它是理工科学生的一门重要的基础课。该书以机械制造为主线,以突出行业针对性和实用性为特点。全书共分10章,具体介绍车、钳、铣、刨、磨、铸、锻、焊、计量器具等机械制造专业基础理论及基本技能。

本书既可作为高职高专学生金工实训的教材,亦可作为机械制造、数控等专业技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础技能训练/张贻摇主编. —北京:北京理工大学出版社,
2007.10

21世纪高等院校应用型规划教材

ISBN 978-7-5640-1363-9

I. 机… II. 张… III. 机械制造—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第160623号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 / 787毫米×960毫米 1/16

印 张 / 20.25

字 数 / 403千字

版 次 / 2007年10月第1版 2007年10月第1次印刷

印 数 / 1~5000册

定 价 / 29.80元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 周瑞红

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

机械制造基础技能训练又称金工实训，它是理工科学生的一门重要的基础课，对于机电、数控技术、模具制造等专业的学生，它更是学习专业基础课及其他专业课的先导课。它又为今后进行数控实训、模具实训等专业实训打下坚实的基础，还为学生进行中、高级技工等级培训提供了前提条件。

制造技术是将原材料转变为产品的技术，是高新技术走向国际应用的接口、通道和桥梁，是提高企业竞争力的根本途径，是制造业赖以发展的关键基础技术。目前，制造业和制造技术的发展日新月异，随着计算机技术、自动控制技术、传感技术、信息技术、管理技术等高新技术与制造技术的深层次结合，制造业也得到了突飞猛进的发展，反过来又促进了整个工业的快速发展。

本书根据国家教育部颁发的“金工实习教学基本要求”，结合几年来的教学实践的经验，由既有丰富的理论教学经验又有较高的实践操作技能的教师撰写，并经过多次修改后定稿。

本书以机械制造为主线，以突出行业针对性和实用性为特点，主要介绍了机械制造的基础知识，车、钳、铣、磨、铸、焊等传统机械制造的基本理论及基本技能，刨、锻、热处理技术的基础知识。通过入厂教育、现场教学、实践操作、电化教学、综合训练、实训报告及技能考核等方式和手段，完成实践教学任务，使学生有较宽的知识面和专业视野，以提高市场经济下就业的竞争力和适应能力。

本课程作为一门公共实践的技术基础课，要求教师必须遵循“理论—实践—理论”的教学规律，在实训教学过程中将有关机械制造的基本工艺理论、基本工艺方法和基本工艺实践有机地结合起来，通过专门训练和综合能力的培养，提高学生的工程素质。本书适于作为高职高专学生进行金工实训的教材。

本书由江西蓝天学院现代制造技术中心张贻摇（高级工程师）任主编，张文开任副主编。参编人员有张文开（第一章）、周克勤（第二章）、李敏（第三章）、熊耕耘（第四、五章）、黄黑牯（第六章）、刘汉书（第七、八章）、崔金泉（第九章）、刘虹（第十章）。全书由张贻摇统稿。

在编写过程中，由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请同行和专家们给予批评指正，十分感谢！

编 者

目 录

第一章 机械加工的基础知识.....	1
第一节 机械产品的生产过程和工艺过程.....	1
第二节 金属切削加工概念.....	4
第三节 机械加工零件的技术要求	10
第四节 基准、定位及安装	20
第五节 刀具材料简介	22
思考题	24
第二章 车削加工	26
第一节 概述	26
第二节 普通车床	28
第三节 工件的装夹及附件应用	42
第四节 车刀	54
第五节 车床操作要点	62
第六节 车削工艺	66
第七节 典型零件车削加工	77
第八节 中、高级车工的综合训练及考核实例	88
思考题	91
第三章 钳工	92
第一节 划线	92
第二节 錾削	99
第三节 锯割.....	106
第四节 锉削.....	111
第五节 常用孔加工.....	116
第六节 攻丝和套丝.....	124
第七节 铰配.....	131
第八节 刮削与研磨.....	136
第九节 矫正与弯曲.....	144

第十节	装配基本知识	146
第十一节	中、高级钳工综合训练及考核实例	150
第四章	铣削加工	155
第一节	概述	155
第二节	铣床	159
第三节	铣刀及其安装	163
第四节	工件安装及附件应用	167
第五节	铣削工艺知识	171
第六节	圆柱齿轮齿形加工	180
第七节	较复杂零件的铣削	181
	思考题	192
第五章	刨削加工	195
第一节	概述	195
第二节	刨床	197
第三节	刨刀及工件安装	201
第四节	刨削加工	203
	思考题	205
第六章	磨削加工	207
第一节	概述	207
第二节	常用磨床简介	208
第三节	磨料与磨具	214
第四节	磨削基本原理	223
第五节	磨削加工工艺	228
	思考题	233
第七章	铸造	234
第一节	概述	234
第二节	砂型的制造	235
第三节	铸造合金及其熔炼	243
第四节	铸件的落砂、清理及铸件缺陷分析	249
	思考题	254

第八章 锻压	255
第一节 概述	255
第二节 锻造工艺及加热炉	256
第三节 锻件坯料的加热及冷却	259
第四节 自由锻造	262
第五节 模锻简介	268
第六节 板料冲压	270
思考题	277
第九章 焊接	279
第一节 概述	279
第二节 焊条电弧焊	280
第三节 气焊与气割	290
第四节 其他焊接方法介绍	299
思考题	304
第十章 通用计量器具	305
第一节 游标卡尺	305
第二节 千分尺	307
第三节 百分表	309
第四节 塞规与卡规	311
第五节 万能角度尺	312
参考文献	314

第一章

机械加工的基础知识

第一节 机械产品的生产过程和工艺过程

机械制造业是国民经济的支柱性产业，它担负着为社会各行各业提供各种适用的机械装配的任务。机械制造业所提供装配的水平，对国民经济各部门的技术进步、质量水平和经济效益都有着重要的影响。

一、生产过程

机械产品的生产过程是指把原材料（或半成品）转变为成品的各互相关联的劳动过程的总和。它包括以下几个方面。

(1) 生产技术准备过程

包括产品生产前的市场调查与预测、新产品开发鉴定、产品设计标准化审查等。

(2) 生产工艺过程

是指直接制造产品毛坯和零件的机械加工、热处理、检验、装配、调试、涂装等生产过程。

(3) 辅助生产过程

是为了保证基本生产过程的正常进行所必需的辅助生产活动，如工艺装配的制造、能源的供应、设备维修等。

(4) 生产服务过程

是指原材料的组织、运输、保管、供应及产品包装、销售等过程。

二、工艺过程

1. 工艺过程概念

工艺过程是指生产过程中直接改变生产对象的形状尺寸、相对位置和性质等，使之成为成品或半成品的过程。例如毛坯制造、机械加工、热处理、表面处理及装配等。它是生产过

程的主体。

2. 工艺过程的组成

机械加工工艺过程由一个或若干个顺序排列的工序组成，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同时对几个零件所连续完成的某一部分工作过程称为工序。划分工序的依据是工作地点是否变化和工作是否连续。一个零件，往往是经过若干个工序而制成成品的。如图 1-1-1 所示的零件，其工艺过程可以分为 4 个工序，如表 1-1-1 所示。

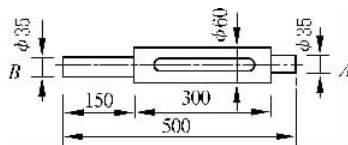


图 1-1-1 阶梯轴

表 1-1-1

工序编号	工序名称	工作地点
1	打中心孔及车外圆	车床
2	铣键槽	铣床
3	磨外圆	磨床
4	去毛刺	钳工台

工序是工艺过程的基本组成部分，也是生产计划的基本单元。

在同一道工序中，零件在加工位置上，可能装夹一次，也可能装夹几次，应尽量减少装夹次数。因为多一次装夹，就多一次误差，而且增加装卸工件的辅助时间。因此，常采用无须重新卸装工件而能改变其加工表面的夹具。

(2) 工位

一次装夹后，工件相对于机床或刀具每占据一个加工位置所完成的那部分工艺过程称为工位。如图 1-1-2 所示，为在铣床上加工一具有台阶面的工件，当铣完工件的台阶面 1 以后，不拆下工件，而仅将夹具旋转 180°，使 2 面进入加工的位置。此工序包括两个工位。

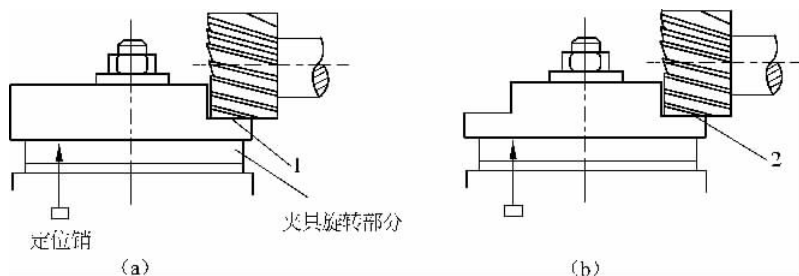


图 1-1-2 一次安装两个工位

(a) 第一个工位；(b) 第二个工位

采用多工位加工，可减少装夹次数。

(3) 工步

加工工件表面时，在切削刀具和切削用量都不变的情况下所连续完成的那部分工序称为工步。

一道工序中包括一个或若干个工步。

用几把刀具同时加工几个表面的工步称为复合工步，亦可算为一个工步。

(4) 走刀

刀具对加工表面每次切去一层金属的过程，称为一次走刀。

三、生产类型

1. 生产纲领

生产纲领是企业计划期内应生产的产量。零件生产纲领是指企业根据产品产量在计划期内生产的零件数量。其计算公式为

$$N=Qn(1+a)(1+b)$$

式中： N ——零件的生产纲领；

Q ——产品的生产纲领；

n ——每台产品中该零件的数量；

a ——备品的百分率；

b ——废品的百分率。

2. 生产类型

根据生产规模大小的不同，可以分成 3 种不同的生产类型：大量生产，成批生产和单件生产。

(1) 大量生产

当一种产品的制造数量庞大，大多数工作地点长期按一定节律进行某一零件的某一道工序的加工时，这种生产称为大量生产，如汽车、轴承、标准件及电子产品的生产。

(2) 成批生产

成批生产是指每年分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品都有一定的数量，工作地点的加工对象周期性重复。每批所制造的相同零件的数量称为批量。

(3) 单件生产

单件生产是指产品品种多，而每一品种的结构、尺寸不同且产量很少，各工作地点的加工对象经常改变且很少重复的生产类型。如试制产品、机修零件、制造专用工夹具及制造重型机械等。

生产类型不同，生产组织、管理、车间布置、毛坯、设备、工具、加工方法和工人的熟练程度等各方面的要求均不同。所以，设计的工艺规程必须与生产类型相适应，以取得最好

的经济效益。

各种不同生产类型的工艺特点见表 1-1-2。

表 1-1-2

	单 件 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
1	事先不决定是否重复生产	周期地成批生产	长时间内不断地生产某种零件
2	机床上加工各种零件, 它们的变换没有一定的规律	机床上周期地变换零件	机床上不断地加工同样的零件
3	万能设备, 按划线工作, 非常必要时才采用夹具和特种工具	万能设备和部分专用高效率设备, 广泛使用夹具和特种工具, 部分采用划线工作	广泛使用专用高效率设备, 有自动装置的复杂夹具和特种工具, 夹具是有机地与机床相联系的, 不需划线
4	用试切法工作	在调整好的机床上工作, 有时也用试切法	使用调整好的、自动化程度高的机床自动线
5	通常很少采用互换性原则, 广泛采用钳工修配工作	普遍应用互换性, 同时也保留某些修配工作	完全互换, 只在某些情况下允许选择配合, 不允许有修配工作
6	需要技术熟练的工人	需要各种熟练程度的工人	需要熟练程度较低的工人(当有调整工等时)
7	毛坯制造采用木模造型和自由锻造	毛坯制造部分采用金属模及模锻法	毛坯制造采用金属模机器造型、模锻法、压力铸造及其他制造毛坯的特种方法
8	按照类型和尺寸, 机群式布置机床	布置机床时, 要照顾到运输线的方向	按照工艺过程的进程布置机床
9	通常按照最简单的形式(过程卡片) 编订工艺规程	编订工艺卡片, 重要的工序有工序卡片和工序图	详细地编订工艺规程

第二节 金属切削加工概念

金属切削加工是用刀具从金属毛坯工件上切除多余金属材料的加工方法, 以此获得符合图纸(或实物)规定的几何尺寸精度、几何形状精度、相对位置精度及表面粗糙度的合格零件。

机械零件中除极少数采用精密铸造或精密模锻等少、无切削加工方法生产外, 目前, 绝大多数都须进行切削加工。

金属切削加工可分为钳工和机械加工两大类。

钳工主要是工人手持工具进行切削加工。

机械加工主要是由工人操纵机床对工件进行切削加工。

对零件不同表面采用不同的加工方法。目前，生产中常用的切削方法有车削、铣削、刨削、钻削、镗削、磨削等。

金属切削加工虽有多种不同的方式，但它们在切削时的运动、切削使用的刀具以及切削过程的实质等很多方面都有着共同的规律。

一、切削运动

在切削过程中，刀具和工件之间的相对运动即为切削运动。一般按运动在切削过程中所起作用不同分为主运动和进给运动。

1. 主运动

主运动是由机床或人力提供的主要运动，是使刀具和工件之间产生相对运动，切下切屑所必需的最基本的运动。没有主运动就无法进行切削加工。在所有机床的切削运动中，主运动的速度最高，消耗的功率最大。主运动一般只有一个。例如车削加工时工件的旋转运动；铣削、钻削时刀具的旋转运动；刨削时刀具的往复运动；磨削时砂轮的旋转运动等都是主运动。

2. 进给运动

进给运动是由机床或人力提供运动，它使刀具与工件之间产生附加的相对运动，加上主运动即可连续地切削，得到零件所需的加工表面。没有进给运动（或输出刀运动）就无法进行连续切削。一般的，进给运动是切削加工中速度较低、消耗功率少的运动。

进给运动可有一个也可有几个。例如车削时刀具的直线运动；钻削时刀具的轴向运动；刨削时工件的间隙直线运动；铣削时工件的直线运动；磨削时工件的旋转运动（内、外圆磨）及其往复直线运动都是进给运动。

各种切削加工都具有其特定的切削运动。切削运动的形式有旋转、直线、连续、间歇等。

主运动和进给运动可由刀具和工件分别完成，也可由刀具单独完成。常见的切削加工运动如图 1-2-1 所示。

二、切削用量和切削层参数

1. 切削过程中工件上形成的表面

如图 1-2-2 所示，在切削运动的作用下，工件上产生了 3 个不断变化的表面。

- ①待加工表面——加工时即将切除的工件表面。
- ②已加工表面——已被切去多余金属而形成的工件新表面。
- ③过渡表面——工件上刀具切削刃正在切削的，并且是切削过程中不断变化着的表面。

2. 切削用量

切削用量是机械加工过程中切削速度 v_c 、进给量 f （或进给速度）和背吃刀量 a_p 的总称，常称为切削三要素。

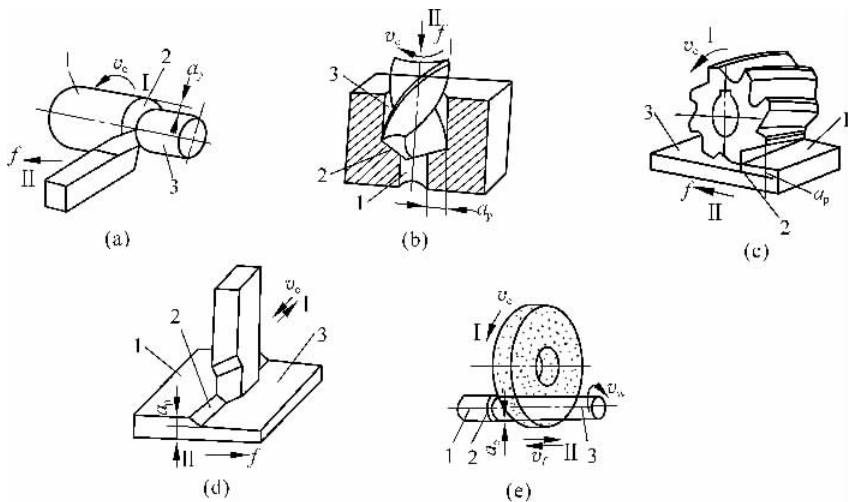


图 1-2-1 常见的切削加工运动简图

(a) 车削; (b) 钻削; (c) 铣削; (d) 刨削; (e) 外圆磨削

I—主运动; II—进给运动

1—待加工面; 2—过渡表面; 3—已加工面

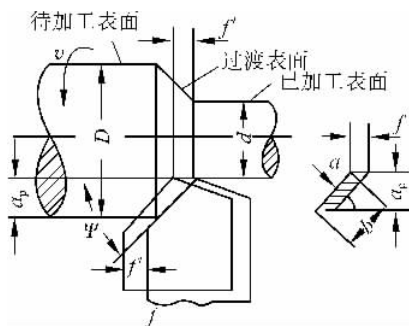


图 1-2-2 车削过程中工件上形成的表面

(1) 切削速度 v_c

切削速度是指切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度, 可用单位时间内刀具或工件沿主运动方向的相对位移量来表示。若主运动为旋转运动, 则切削速度为其最大的线速度。

计算公式如下。

当主运动为旋转运动时, 有

$$v_c = \pi d_w n / 1000 \quad (\text{m/min})$$

式中: v_c ——切削速度, m/min;

d_w —— 工件待加工表面处或刀具的直径, mm;

n —— 工件或刀具的转速, r/min。

当主运动是往复直线运动时, 则

$$v_c = 2ln_r / 1000 \quad (\text{m/min})$$

式中: l —— 往复运动的行程长度, mm;

n_r —— 每分钟的往复次数, 次/min。

(2) 进给量 f

进给量是指刀具或工件在进给运动方向上相对于工件或刀具移动的距离, 常用每转或每行程的位移量来表示, 单位为 mm/r 或 mm/min。

车削时 f 为工件每转一转车刀沿进给方向移动的距离 (mm/r)。

钻削时 f 为钻头每转一转钻头沿进给方向 (轴向) 移动的距离 (mm/r)。

刨削时 f 为刀具每一行程工件沿进给方向的位移量 (mm/行程)。

铣削时 f 可用每齿进给量 f_z (mm/z)、每转进给量 f_r (mm/r) 或进给速度 v_f (mm/min) 来表示。它们之间的关系为

$$v_f = f_r n = f_z z n \quad (\text{mm/min})$$

式中: z —— 铣刀齿数;

n —— 铣刀转速, r/min。

(3) 背吃刀量 a_p

背吃刀量是通过切削刃基点并垂直于工作平面方向上测量的吃刀量, 也即待加工表面与已加工表面之间的垂直距离。

车外圆时

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (\text{mm})$$

式中: d_w —— 工件待加工表面的直径, mm;

d_m —— 工件已加工表面的直径, mm。

3. 切削层参数

切削层是指工件上正被刀具切削刃切削的一层金属。如图 1-2-2 所示, 车削时, 工件转过一转, 车刀主切削刃移动一个 f 距离, 此时车刀切下来的金属层即为切削层。

切削层参数是在与主运动方向垂直的平面内量度的切削层截面尺寸。

(1) 切削层公称宽度 b_D

车削时, b_D 是车刀主切削刃参加工作的长度在切削层横截面内的投影。若车刀主切削刃的投影与工件轴线之间的夹角为 k_r , 则计算公式为

$$b_D = a_p / \sin k_r$$

(2) 切削层公称厚度 h_D

车削时, h_D 是车刀每移动一个 f , 主切削刃相邻两个位置间的垂直距离。计算公式为

$$h_D = f \sin k_r$$

(3) 切削层公称横截面积 A_D

车削时, A_D 为切削层尺寸平面内的实际横截面积。它的大小反映了切削刃所载荷的大小, 并影响加工质量、生产率及刀具使用寿命等。面积近似等于背吃刀量与进给量的乘积, 或切削层公称厚度与切削层公称宽度的乘积。

计算公式为

$$A_D = b_D \cdot h_D \approx a_p \cdot f$$

4. 切削用量的选择

切削用量对机械加工生产率、加工成本及加工精度影响很大。而刀具材料、刀具几何角度、工件材料、机床刚度、机床功率、切削液等都会影响切削用量的选择。

在切削过程中, 刀具受切屑及工件的摩擦而升温, 刀具切削部分逐渐被磨损, 磨损后需要重新刃磨。若切削用量选取太大, 则刀具很快被磨钝, 使刀具刃磨周期短、刃磨时间长, 会降低生产率。若切削用量过小, 则需要很长时间才能把多余的金属切除掉, 也会降低生产率。所以, 选择切削用量应当在保证质量的前提下, 尽量提高生产率, 降低成本。

在切削用量三要素中, 影响刀具磨损速度最大的因素是切削速度, 其次是进给量, 最小的是背吃刀量。而进给量和背吃刀量增大, 表面粗糙度值会增大。所以选择切削用量的原则是: 在机床、工件、刀具强度和工艺系统刚度允许的条件下, 首先应尽量选取较大的背吃刀量和进给量, 然后再根据刀具耐用度的要求选择合适的切削速度。

(1) 切削深度即背吃刀量的选择

无论何种切削加工, 切削深度的选择都应使在一次走刀的过程中切除尽量多的加工余量, 减少走刀次数, 从而提高生产率。

①粗加工时, 可不考虑工件的粗糙度和尺寸精度要求, 在留足精加工余量的前提下, 最好能在一次走刀内切除多余金属层, 使工件接近于最终的形状和尺寸。但在工件加工余量太大、机床功率不足、刀具刚度不够或断续切削时, 则需多次走刀。

在切削铸、锻件时, 工件表面凹凸不平, 且表面有一层硬皮, 为保护近刀尖段刀刃不受冲击和与硬皮接触摩擦, 第一次走刀的切削深度应使近刀尖段刀刃能在硬皮内进行切削。

②精加工或半精加工时, 为了保证工件的尺寸精度、形位精度和粗糙度要求, 切削厚度应取小些。一般精加工可小于 0.8mm, 半精加工也不超过 3mm。

(2) 进给量的选择

①粗加工时, 因切削深度选择大, 进给量受切削力的限制不宜选择过大, 但在刀具和工件的刚度和机床走刀机构强度允许的情况下, 亦可选择较大的进给量。

②半精加工和精加工时, 进给量主要受表面粗糙度的限制。表面粗糙度值的大小与进给量的大小基本上成正比例关系, 所以一般取较小的进给量。若刀尖处磨有过渡刃、修光刃以

及切削速度偏高或偏低时，也可适当增大进给量。

③断续加工时，为减小冲击，应适当减小进给量。

④当切屑连续不断流出影响操作或影响已加工面粗糙度时，应加大进给量以利于断屑。

(3) 切削速度的选择

在背吃刀量和进给量选定之后，为了提高加工质量和切削效率，充分发挥刀具的切削性能和利用机床的功率，应相应选择较大的切削速度。

①粗加工时，切削速度受刀具耐用度和机床功率的限制，应适当降低切削速度。

②精加工时，在刀具材料允许的条件下，一般采用较高的切削速度。只有在受工艺条件限制而不能采用高速的情况下采用低速。

③工件材料的强度和硬度较高及塑性太大或太小时，应采用低速。例如与切削中碳钢相比，加工合金钢、不锈钢、高锰钢、铸铁等材料时，平均切削速度要降低 20%~30%；而加工有色金属材料时，切削速度一般可提高到原来的 1~3 倍。

④断续切削时或者加工大型的、细长的及薄壁工件时，应采用较低速度。

(4) 提高切削用量的主要途径

①工艺上采用热处理等方法改善工件材料的切削性能。

②选择合理的刀具结构和刀具几何参数。

③选用耐热性和耐磨性更好的刀具材料。

④提高刀具的刃磨质量。

⑤正确选择和使用冷却润滑液。

三、切削液

在金属切削加工时，常使用切削液，以起到冷却、润滑、清洗和防锈等作用。

常见的切削液主要有以下几种。

①水溶液：加入少量防锈剂的水即可作为切削液。其冷却能力强，但润滑性能较差。

②乳化液：俗称肥皂水，它是由乳化油加水稀释而成的白色液体。其浓度可根据各种切削加工的需要进行选择配制。低浓度的冷却能力强，高浓度的润滑作用强。

③油类切削液：常用的主要是矿物油，如机油、柴油和煤油等，多采用以柴油为主的混合油。亦可用动植物油。油类切削液的润滑作用良好，但其冷却能力偏低。

在生产过程中，切削液可根据加工工件材料、加工工种、工件加工精度、刀具材料、切削用量等因素进行选择。

粗加工时，切削量大，切削热多，刀具磨损厉害，宜采用水溶液和低浓度的乳化液进行冷却。精加工时，为提高工件表面加工质量，减少刀具磨损，多采用高浓度的乳化液和油类切削液。

铸铁、铁、铜合金的加工性能好，加工时一般不采用切削液，尤其是加工铜合金时应避

免选用含硫的切削液，以免腐蚀工件。

硬质合金刀具和陶瓷材料刀具硬度高、耐热性能和耐磨性好，一般也不采用切削液。倘若采用，整个过程中必须自始至终保持有大量充分的切削液进行冷却。

第三节 机械加工零件的技术要求

任何机械产品都是由若干个机械零件或部件装配而成的。为了保证各零件之间的配合关系、同种零件的互换性和各种使用性能对零件的要求，以使产品性能好、寿命长，在设计零件时，必须提出合理的制造技术要求。

零件的技术要求一般包括加工精度、表面粗糙度、热处理和表面处理等。

一、加工精度

加工精度是指零件在加工后，其尺寸、形状及各加工面之间的相互位置等技术参数与理想参数即设计参数的符合程度。加工精度包括几何尺寸精度，几何形状精度和相互位置精度。

1. 尺寸精度

尺寸精度是指尺寸的精确程度，它是由尺寸公差控制的，公差是在满足零件使用要求的前提下，所允许的加工误差范围。如零件的同一公称尺寸，其公差值越小，加工精度越高；公差值越大，加工精度越低。

国家标准 GB/T1800—1997 规定，标准的尺寸公差分为 20 个等级：IT01、IT0、IT1、…、IT18。IT 后面的数值越大，精度越低，见表 1-3-1。其标注方法如图 1-3-1 所示，轴的外圆直径为 50，经加工后，测量尺寸只要在 50.010~49.985 范围内就合格了。 $+0.01 - (-0.015) = 0.025$ 叫做尺寸公差。

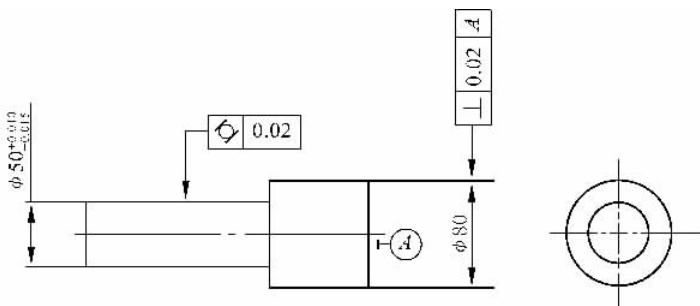


图 1-3-1 尺寸和形状公差标注示例

表 1-3-1 标准公差数值

基本尺寸/ mm		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm												mm							
~	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	5	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.3	0.6	0.62	1.00	1.60	2.5
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.406	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.43	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7
500	630	4.5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0.70	1.10	1.75	2.8	4.4	7.0	11.0
630	800	5	7	10	13.4	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0.80	1.25	2.00	3.2	5.0	8.0	12.5
800	1000	5.5	8	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0.90	1.40	2.30	3.6	5.6	9.0	14.0
1000	1250	6.5	9	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.60	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.10	5.0	7.8	12.5	19.5
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1.50	2.30	3.70	6.0	9.2	15.0	23.0
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.80	4.40	7.0	11.0	17.5	28.0
2500	3150	13	18	26	36	50	60	93	135	210	330	540	860	1350	2.10	3.30	5.40	8.6	13.5	21.0	33.0

公差等级的应用和各种加工方法可能达到的公差等级如表 1-3-2 所示。

表 1-3-2 各种加工方法与公差等级的关系

加工方法	公差等级 (IT)																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
研磨																		
珩磨																		
圆磨																		
平磨																		
金刚石车																		
金刚石镗																		