



中央广播电视大学教材

金属工艺学

下册

JINSHU GONGYIXUE

张学政 主编

中央广播电视大学出版社

金 属 工 艺 学

下 册

张学政 主编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 下册/张学政主编. —北京:中央广播电视大学出版社,1996.5

ISBN 7-304-01223-4

I. 金… II. 张… III. 金属加工-工艺 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 08364 号

金 属 工 艺 学

下 册

张学政 主编

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京市复兴门内大街 160 号 邮编:100031

北京密云胶印厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 12 千字 275

1996 年 2 月第 1 版 1996 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—4400

定价 13.80 元

ISBN 7-304-01223-4/TG·7

前 言

本书根据中央广播电视大学 1992 年 9 月审定的“金属工艺学”教学大纲编写,作为广播电视大学机械类专业金属工艺学课程的讲课教材,也可供高等工科院校、职工大学、函授大学、业余大学选用及有关工程技术人员参考。

全书分上、下两册出版。上册为热加工,内容包括金属材料的基本知识、铸造、锻压、焊接和粘接、毛坯选择等五章;下册为冷加工,内容包括金属切削加工基础知识、车钻镗加工、铣刨拉加工、磨削光整和少无切削加工、齿形加工、常见表面加工方案的选择及典型零件的工艺过程、零件的结构工艺性、数控技术与特种加工、非金属材料的成形与加工等九章。

本教材在编写过程中,注意总结了多年来广播电视大学的教学经验,考虑了广播电视大学培养大专层次应用型高等专门人才的目标和规格,贯彻必需和够用为度的精神,力求精选内容,突出理论和实际的结合,着重对学生应用技术和实践能力进行培养。为了适应广播电视大学远距离教学的特点,便于学生自学,叙述上力求深入浅出,图文密切配合。同时,专门编写了《金属工艺学学习指导》一书,作为本书的配套教材,明确教学基本要求,以便学生能掌握正确的学习方法,加深对课程基本内容的学习和理解,培养分析和解决实际问题的能力。

本教材与实习教材既有明确的分工,又保持内容的有机联系和密切配合,避免简单重复。金属工艺学课堂讲授是在金工实习的基础上进行的拓宽、加深和应用,考虑到广播电视大学学生实习条件有限,在编写体系上仍按工种介绍基本加工方法。

为了适应科学技术发展的需要,本教材兼顾了传统加工方法和新技术、新工艺两个方面,增加了超塑成形、精密冲裁、粘接、非金属材料的成形与加工等新内容。

参加本书编写的教师,上册有:清华大学严绍华(第一、四章)、李家枢(第三、五章及绪论)、中央广播电视大学鲁桂兰(第二章);下册有:清华大学张学政(第一、二、三、四章)、马二恩(第五、六、七章,其中第六章与张学政合写)、傅水根(第八、九章)。上册由严绍华主编,下册由张学政主编。

本书上册承蒙北京理工大学朱铁保教授、天津大学徐允长教授审阅;下册承蒙北京工业大学王永波教授、北京农业工程大学张政兴教授审阅。由朱铁保教授担任主审。不少老师对本教材的编写提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1994.6

主持教师：鲁桂兰

主 编：张学政

编 者：张学政 马二恩 傅水根

目 录

第一章 金属切削加工的基础知识	(1)
§ 1-1 切削加工概述	(1)
一、切削加工及其分类	(1)
二、零件的种类及组成零件的表面	(1)
三、零件技术要求简介	(3)
四、切削加工的阶段	(6)
五、机床切削运动及表面成形方法	(7)
六、切削用量和切削层尺寸	(8)
§ 1-2 金属切削刀具	(10)
一、刀具材料	(10)
二、刀具几何角度	(13)
§ 1-3 金属切削过程及其基本规律	(18)
一、切削过程的实质	(18)
二、切削变形区及切屑厚度压缩比	(19)
三、切屑类型	(20)
四、积屑瘤	(21)
五、总切削力	(22)
六、切削热和切削温度	(24)
七、刀具的磨损和耐用度	(25)
八、加工硬化和残余应力	(28)
§ 1-4 金属材料的可加工性	(29)
一、可加工性的概念和衡量指标	(29)
二、影响材料可加工性的因素	(31)
三、改善材料可加工性的途径	(31)
§ 1-5 提高切削加工生产率的途径	(32)
一、切削加工生产率的概念	(32)
二、提高切削加工生产率的途径	(33)
三、选择切削用量的一般原则	(33)
第二章 车、钻、镗加工	(34)
§ 2-1 车削加工	(34)
一、车削加工概述	(34)
二、车外圆	(36)
三、车端面	(37)

四、镗孔	(37)
五、车锥面	(39)
六、车螺纹	(41)
七、车削加工的工艺特点及应用	(47)
§ 2-2 钻床加工	(49)
一、钻床加工概述	(49)
二、钻孔	(49)
三、扩孔	(53)
四、铰孔	(54)
五、攻螺纹和套螺纹	(56)
六、铰孔和铰凸台	(56)
§ 2-3 镗床加工	(57)
一、镗床及其切削运动	(57)
二、镗床镗孔	(58)
三、镗削孔系	(59)
四、镗床加工的工艺特点及应用	(62)
第三章 铣削、刨削和拉削加工	(63)
§ 3-1 铣削加工	(63)
一、铣削加工概述	(63)
二、铣削方式	(64)
三、铣平面	(66)
四、铣螺旋槽	(66)
五、铣螺纹	(69)
六、铣花键轴	(70)
七、铣床镗孔	(71)
§ 3-2 刨削加工	(72)
一、刨削加工概述	(72)
二、刨 V 形槽和燕尾槽	(73)
三、插孔内单键槽和花键孔	(74)
四、刨削与铣削加工的分析比较	(76)
§ 3-3 拉削加工	(77)
一、拉削加工概述	(77)
二、拉刀	(78)
三、拉圆孔和孔内单键槽	(79)
四、拉削的工艺特点及应用	(80)
第四章 磨削、光整及少无切削加工	(82)
§ 4-1 磨具	(82)
一、磨料	(82)
二、粒度	(82)

三、结合剂	(84)
四、硬度	(85)
五、组织	(85)
六、形状和尺寸	(86)
七、磨具的标志	(87)
§ 4-2 磨削过程及其特点	(88)
一、磨削过程	(88)
二、磨削用量及其选择	(88)
三、磨削过程的特点	(90)
§ 4-3 普通磨削加工	(91)
一、普通磨削加工概述	(91)
二、磨外圆	(92)
三、磨内圆	(93)
四、磨平面	(94)
五、磨螺纹	(94)
§ 4-4 高效与低粗糙度磨削加工	(95)
一、高速磨削	(95)
二、缓进给磨削	(96)
三、宽砂轮与多砂轮磨削	(96)
四、恒压力磨削	(97)
五、低粗糙度磨削	(97)
六、砂带磨削	(98)
七、磨削加工的工艺特点及应用	(99)
§ 4-5 光整加工	(99)
一、刮削	(99)
二、宽刀细刨	(100)
三、研磨	(101)
四、珩磨	(102)
五、超精加工	(103)
六、抛光	(104)
§ 4-6 金属少无切削加工	(104)
一、零件表面滚压	(105)
二、零件表面挤光	(106)
三、滚压螺纹	(106)
四、粉末冶金	(107)
第五章 齿形加工	(109)
§ 5-1 渐开线圆柱齿轮概述	(109)
一、渐开线的形成及有关特性	(109)
二、渐开线直齿圆柱齿轮各部分名称、基本参数和主要尺寸	(110)

三、圆柱齿轮精度简介	(112)
§ 5-2 铣齿	(114)
一、铣削直齿圆柱齿轮	(114)
二、铣削螺旋齿圆柱齿轮	(115)
三、铣齿的工艺特点和应用	(117)
§ 5-3 插齿和滚齿	(117)
一、插齿	(117)
二、滚齿	(118)
三、滚齿与插齿分析比较	(121)
§ 5-4 齿形精加工	(122)
一、剃齿	(122)
二、珩齿	(122)
三、磨齿	(123)
四、研齿	(124)
第六章 常见表面加工方案的选择及典型零件的工艺流程	(126)
§ 6-1 选择表面加工方案的依据	(126)
一、根据表面的尺寸精度和粗糙度选择加工方案	(126)
二、根据表面所在零件的结构形状选择加工方案	(126)
三、根据工件材料的性能选择加工方案	(127)
四、根据是否热处理及热处理方法选择加工方案	(128)
五、根据零件的批量选择加工方案	(129)
§ 6-2 外圆、内圆、平面加工方案的选择	(129)
一、外圆加工方案的选择	(129)
二、内圆加工方案的选择	(130)
三、平面加工方案的选择	(133)
§ 6-3 锥面、螺纹、齿形加工方案的选择	(133)
一、锥面加工方案的选择	(133)
二、螺纹加工方案的选择	(134)
三、齿形加工方案的选择	(134)
§ 6-4 典型零件机械加工工艺过程	(136)
一、制定机械加工工艺的基本知识	(136)
二、三类典型零件机械加工工艺过程	(138)
第七章 零件的结构工艺性	(147)
§ 7-1 零件结构工艺性的概念	(147)
§ 7-2 零件结构的切削加工工艺性举例	(147)
§ 7-3 零件结构的装配工艺性举例	(148)
第八章 数控技术与特种加工	(161)
§ 8-1 数控机床和加工中心	(161)

一、数控机床	(161)
二、加工中心	(163)
§ 8-2 特种加工	(164)
一、电火花加工	(164)
二、电解加工	(165)
三、超声波加工	(167)
四、激光加工	(168)
五、电子束加工	(169)
六、离子束加工	(170)
第九章 非金属材料成形与加工	(172)
§ 9-1 工程塑料的成形与加工	(172)
一、常用工程塑料	(172)
二、塑料的性能	(173)
三、塑料制品的成形	(173)
四、塑料制品的加工	(175)
§ 9-2 特种陶瓷的成形与加工	(176)
一、常用特种陶瓷及其烧结方法	(176)
二、陶瓷的性能	(177)
三、特种陶瓷的加工	(178)
§ 9-3 橡胶的成形与加工	(178)
一、常用橡胶	(178)
二、橡胶的性能	(179)
三、橡胶的制成	(179)
四、橡胶的切削加工	(179)
§ 9-4 复合材料	(179)
一、常用纤维复合材料	(180)
二、纤维复合材料的主要性能	(181)
三、复合材料的切削加工	(182)

第一章 金属切削加工的基础知识

§ 1-1 切削加工概述

一、切削加工及其分类

切削加工是利用切削工具从工件上切除多余材料的加工方法,它使零件获得符合图样要求的形状、尺寸和表面粗糙度。切削加工分为机械加工和钳工两部分。

机械加工(简称机工)是利用机械对各种工件进行加工的方法,通常是通过工人操作机床进行的。机工按所用的工具类型又可分为两类:一类是利用刀具进行加工的,如车削、钻削、镗削、铣削、刨削、拉削等;另一类是用磨料进行加工的,如磨削、珩磨、超精加工和抛光等。

钳工一般是由工人手持工具进行的切削加工,其工作内容主要包括划线、錾削、锯削、锉削、刮削、钻孔和铰孔、攻螺纹和套螺纹等,机械装配和修理一般也属钳工范围。目前,钳工的部分工作已由机工所代替,机械装配也在一定范围内不同程度地实现了机械化、自动化。随着加工技术进一步发展,这种现象将更为普遍。尽管如此,钳工永远不会被机工完全代替,将仍是切削加工不可缺少的一部分,在机械制造中仍具有独特的地位。这是因为在某些情况下,钳工不仅经济方便,而且比机工更容易保证产品质量。例如,某些配件和模具的修配以及中小批量生产中各种零部件上的众多小螺纹孔的加工,以钳工进行较为方便;又例如,精密机床导轨面的刮削常被机工中的磨削或宽刀细刨所代替,但刮削的加工质量仍优于磨削或宽刀细刨。

在现代机械制造中,除少数零件采用精密铸造、精密锻造以及粉末冶金和工程塑料压制成形等方法直接获得外,绝大多数零件要靠切削加工成形,以保证精度和表面粗糙度要求。因此,在机械制造中切削加工是必不可少的,占有十分重要的地位。

随着科学技术发展而出现的电火花、电解、超声波、激光、电子束、离子束加工等特种加工方法,已完全突破传统的依靠机械能进行切削加工的范畴,可以加工各种难加工材料、复杂型面和某些具有细微结构的零件。电子技术和计算机技术的应用和推广,为进一步减轻工人劳动强度,提高生产效率,降低成本和提高产品质量开辟了更加广阔的前景。

二、零件的种类及组成零件的表面

任何机器或机械装置都由若干零件组成。组成机械设备的零件虽千变万化,多种多样,但最常见的是三类零件,即轴类零件、盘套类零件和支架箱体类零件。在图 1-1 所示的减速器中,蜗杆轴、蜗轮轴、锥齿轮轴等属于轴类零件;蜗轮、皮带轮、齿轮、轴承套、轴承盖等属于盘套类零件;减速器箱体和箱盖属于支架箱体类零件。此外,还有六面体类零件和机身机座类零件等。

任何一个零件又是由多个表面组成。组成零件常见的表面有外圆、内圆、平面、锥面、螺纹、齿形、沟槽以及各种成形面等。例如图 1-2 所示的心轴体零件,就是由外圆、内圆、锥面、螺纹、

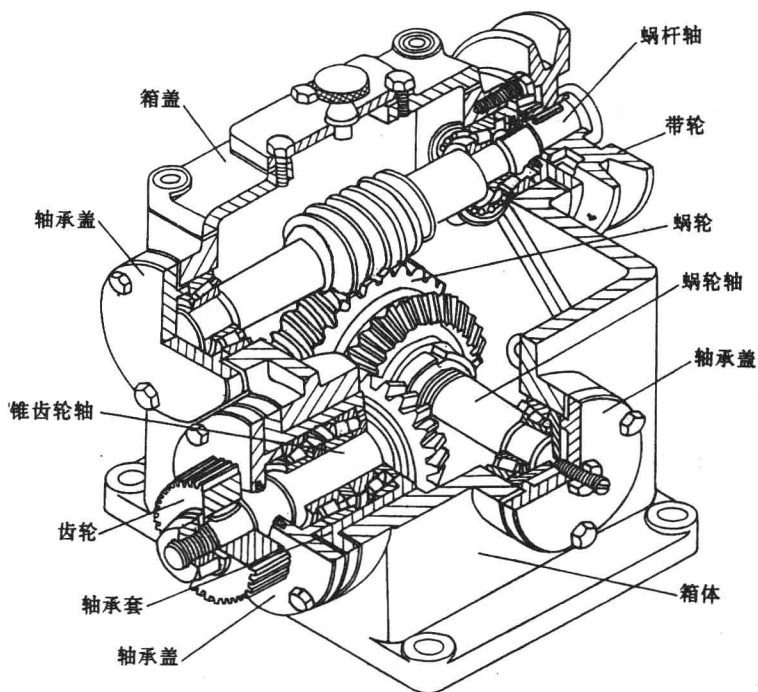


图 1-1 减速器

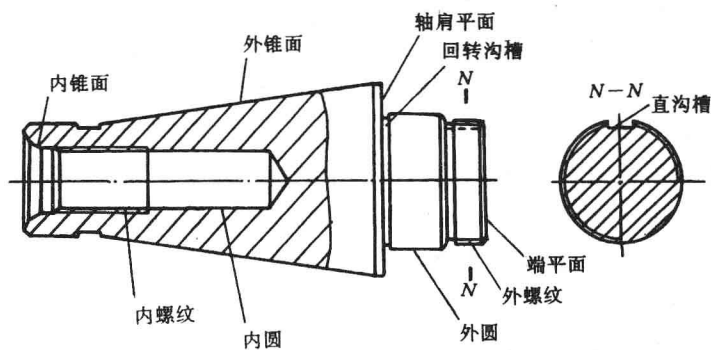


图 1-2 心轴体零件

沟槽及端平面所组成。螺纹和齿形在某种意义上也属成形面,因为用得较多,所以单独列出。

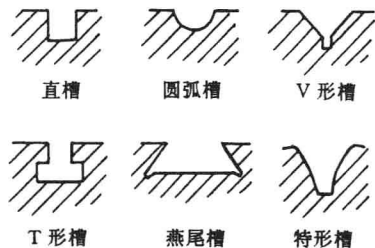


图 1-3 常见沟槽的断面形状

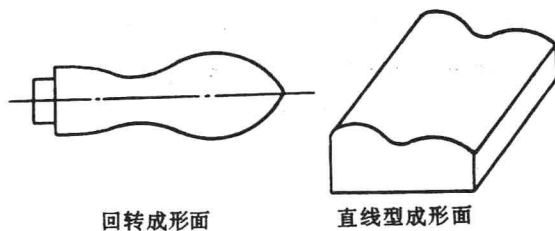


图 1-4 成形面

沟槽一般可看作是平面或曲面的组合,有一些也属成形面,常见沟槽的断面形状如图 1-3 所

示。成形面常见的有回转成形面和直线型成形面两种(图 1-4),前者是以曲线为母线,以圆为轨迹旋转而成;后者是以曲线为母线,以直线为轨迹作平移运动形成的。这两种都是二维成形面。此外,还有三维成形面,即立体成形面,如螺旋桨等。

三、零件技术要求简介

切削加工的目的除了获得零件上各种表面以外,还在于加工出符合设计要求的机械零件。设计零件时,为了保证机械设备的精度和使用寿命,应根据零件的不同作用提出合理要求,这些要求通称为零件的技术要求。它包括表面粗糙度、尺寸精度、形状精度、位置精度以及零件的材料、热处理和表面修饰(如电镀、发蓝)等。前四项均由切削加工保证。

1. 表面粗糙度

在切削加工中,由于振动、刀痕以及刀具与工件之间的摩擦,在工件已加工表面上不可避免地留下一些微小峰谷。即使是光滑的磨削表面,放大后也会发现有高低不平的微小峰谷。零件的表面上这些微小峰谷的高低程度称为表面粗糙度,也称微观不平度。

国标 GB3503—83,GB1031—83,GB131—83 规定了表面粗糙度的评定参数和评定参数允许值系列,其中最为常用的是轮廓算术平均偏差 R_a 。如图 1-5 所示,在取样长度 l 内,被测轮廓上各点至轮廓中线偏距绝对值的算术平均值,称为轮廓算术平均偏差 R_a ,单位为 μm 。即

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1-1)$$

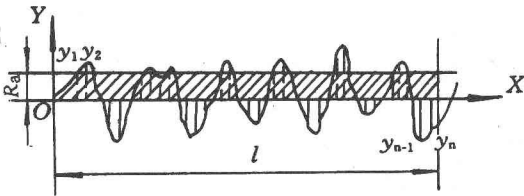


图 1-5 轮廓算术平均偏差

表面粗糙度对零件的尺寸精度和零件之间的配合性质、零件的接触刚度、耐腐蚀性、耐磨性以及密封等均有很大的影响。在设计零件时,要根据具体条件合理选择 R_a 的允许值。 R_a 的最大允许值为 $50\mu\text{m}$,其表面可见明显刀纹;最小允许值小于 $0.012\mu\text{m}$,其表面为光洁的镜面。

R_a 值愈小,表面愈光洁,加工愈困难,成本也愈高。

2. 尺寸精度

尺寸精度是指零件的实际尺寸相对于理想尺寸的准确程度。尺寸精度是用尺寸公差来控制的。尺寸公差是切削加工中零件尺寸允许的变动量。在基本尺寸相同的情况下,尺寸公差愈小,则尺寸精度愈高。如图 1-6 所示,尺寸公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差,或等于上偏差与下偏差之差。国标 GB1800—79 至 GB1084—79 将确定尺寸精度的标准公差等级分为 20 级,分别为 IT01,IT0,IT1,IT2,...IT18,其中 IT01 的公差值最小,尺寸精度最高。

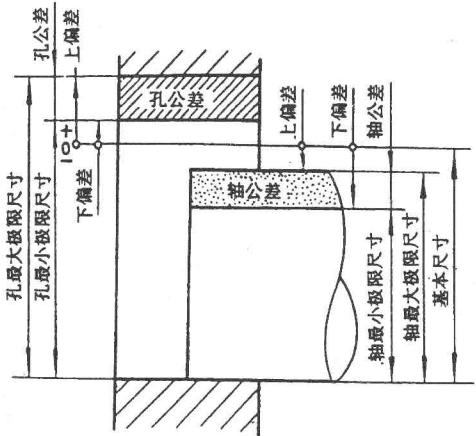


图 1-6 尺寸公差的概念

切削加工所获得的尺寸精度一般与使用的设

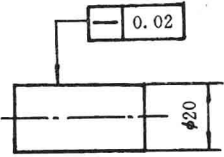
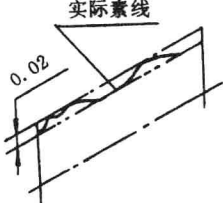
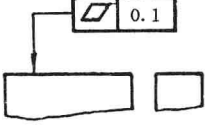
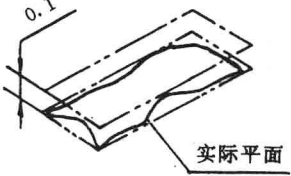
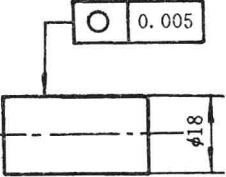
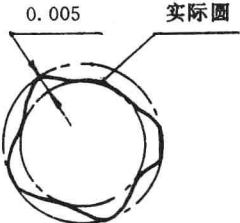
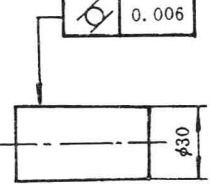
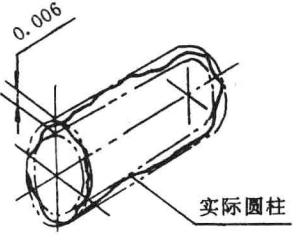
备、刀具和切削条件等密切相关。尺寸精度愈高,零件的工艺过程愈复杂,加工成本也愈高。因此,在设计零件时,在保证零件使用性能的前提下,应选用较低的尺寸精度。

3. 形状精度

为了保证机械设备的精度和使用性能,只靠尺寸公差来保证是不够的,有时也不经济,还必须对零件表面的几何形状及相互位置提出必要的形状精度和位置精度要求。

形状精度是指零件上的线、面的实际形状相对于理想形状的准确程度。形状精度是用形状公差来控制的。国标 GB1182—80 至 GB1184—80 规定了六项形状公差。表 1-1 是常用的四项形状公差 的名称、符号、标注及其说明。

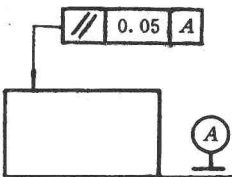
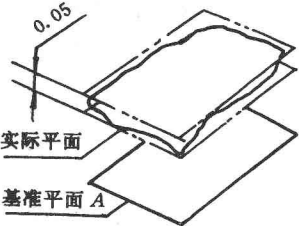
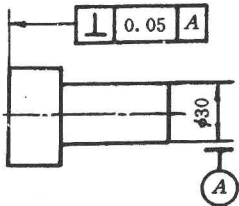
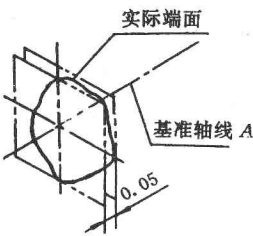
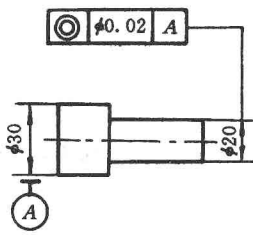
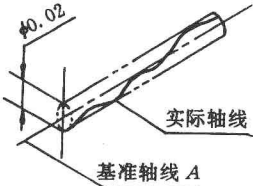
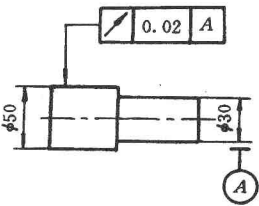
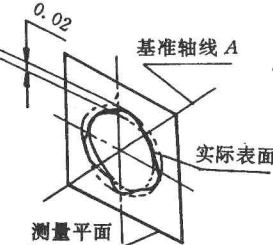
表 1-1 常用形状公差 的名称、符号、标注及其说明

项目	图 例	说 明
直 线 度		 直线度公差为 0.02mm,任一实际素线必须位于轴向平面内距离为 0.02mm 的两平行直线之间
平 面 度		 平面度公差为 0.1mm,实际平面必须位于距离为 0.1mm 的两平行平面内
圆 度		 圆度公差为 0.005mm,在任一横截面内,实际圆必须位于半径差为 0.005mm 的二同心圆之间
圆 柱 度		 圆柱度公差为 0.006mm,实际圆柱面必须位于半径差为 0.006mm 的二同轴圆柱之间

4. 位置精度

位置精度是指零件上点、线、面的实际位置相对于理想位置的准确程度。位置精度是用位置公差来控制的。国标 GB1182—80 至 GB1184—80 规定了八项位置公差,其中常用的四项位置公差的名称、符号、标注及其说明见表 1-2。

表 1-2 常用位置公差的名称、符号、标注及其说明

项目	图 例	说 明
平行度		 平行度公差为 0.05mm,实际平面必须位于距离为 0.05 mm 且平行于基准平面 A 的两平行平面之间
垂直度		 垂直度公差为 0.05mm,实际端面必须位于距离为 0.05 mm 且垂直于基准轴线 A 的两平行平面之间
同轴度		 同轴度公差为 $\phi 0.02$mm, $\phi 30$ 圆柱的实际轴线必须位于以 $\phi 30$ 圆柱基准轴线 A 为轴线的以 0.02mm 为直径的圆柱面内
圆跳动		 、径向圆跳动公差为 0.02 mm, $\phi 50$ 圆柱面绕 $\phi 30$ 圆柱基准轴线作无轴向移动回转时,在任一测量平面内的径向跳动量均不得大于 0.02mm

续表

项目	图 例	说 明
圆 跳 动		端面圆跳动公差为 0.05 mm, 当零件绕 $\phi 20$ 圆柱基准轴线作无轴向移动回转时, 在左端面上任一测量直径处的轴向跳动量均不得大于 0.05 mm

四、切削加工的阶段

为了保证加工质量和便于热处理工序的安排等原因, 工件的加工余量往往不是一次切除, 而是分阶段逐步切除的。切削加工一般分为粗加工、半精加工、精加工、光整加工四个阶段。其中精加工有一般精加工和精密精加工之分。各加工阶段的主要目的、尺寸公差等级和表面粗糙度 R_a 值范围及相应的加工方法见表 1-3。

表 1-3 切削加工的阶段

阶段名称	主要目的	可达的尺寸公差等级	表面粗糙度 R_a 值(μm)	相应的加工方法
粗加工	从毛坯上切去多余的材料, 使其接近零件的形状和尺寸。这时提高生产率是主要的, 而对精度和表面粗糙度无太高要求	IT14~IT12	50~12.5	粗车、粗镗、粗铣、粗刨、钻孔等
半精加工	进一步提高精度和减小表面粗糙度 R_a 值, 为主要表面进行精加工做准备	IT11~IT9	6.3~3.2	半精车、半精镗、半精铣、半精刨、扩孔等

续表

阶段名称	主要目的	可达的尺寸公差等级		表面粗糙度 Ra 值(μm)	相应的加工方法
精加工	使一般主要表面达到规定的精度和表面粗糙度要求,为要求很高的主要表面进行光整加工做准备	一般精加工	IT8~IT7 (精车外圆可达 IT6)	1.6~(0.8)	精车、精镗、精铣、精刨、粗磨、粗拉、粗铰等
		精密精加工	IT6~IT5	0.8~0.2	精磨、精拉、精铰等
光整加工	在精加工基础上进一步提高精度和减小表面粗糙度 Ra 值。仅用于少数要求很高的表面	IT5~IT3		0.1~0.008	研磨、珩磨、超精加工等

五、机床切削运动及表面成形方法

1. 机床切削运动

要加工出工件上的各种表面,机床必须为刀具与工件提供一定的相对运动,即所谓切削运动。切削运动包括主运动和进给运动。

主运动 主运动是切下切屑所必需的最基本的运动,它是机床提供的最主要的运动。在一般情况下,主运动的速度最高,消耗的功率最多。如车削时工件的旋转,铣削时刀具的旋转,牛头刨床刨削时刀具的直线往复移动等。

进给运动 进给运动是使工件切削层不断投入切削,从而加工出完整表面所需的运动。如车削时车刀的连续直线移动,铣削时工件的连续直线移动,牛头刨床刨水平面时工件的间歇移动等。

各种切削加工机床是为实现某些表面的加工而设计的,因此都有自己特定的切削运动。切削运动的形式多种多样,有旋转的,也有平移的;有连续的,也有间歇的。主运动一般只有一个,进给运动可以是一个,也可以是多个。常用普通机床的切削运动见表 1-4。

在机床加工方法的工艺简图中,常用符号表示各种机床的主运动和进给运动,如图 1-7 所示。例如,用 $\curvearrowright$ 表示旋转运动,用 $\odot\otimes$ 或 $\leftrightarrow$ 或 $\rightleftarrows$ 表示直线往复移动,用 $\rightarrow$ 表示单向连续移动,用 $\rightarrow\rightarrow\rightarrow$ 表示单向间歇移动等。

机床在加工过程中,除切削运动外,还有一些诸如吃刀、退刀、返回、让刀等辅助运动。在普通机床上,辅助运动多为手动。