

普通高等院校面向“十二五”规划教材

机械制造技术基础

主 编 唐远志

副主编 王生怀

JI XIE ZHI ZAO JI SHU JI CHU



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

机械制造技术基础

主 编 唐远志

副主编 王生怀

合肥工业大学出版社

内容简介

全书共9章,内容包括:零件机加工工艺基本知识,金属切削原理与刀具,制造工艺装备,机床夹具结构及设计,机床加工质量分析及控制,机械加工工艺规程制订,金属切削机床,典型零件加工工艺,先进制造技术。每章后面附有思考与练习题。

本书读者对象为高等学校、职业技术学院及专科学校的机械、车辆工程专业及相关专业学生。也适于从事机械设计、制造工艺及相关专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/唐远志主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2016.2
ISBN 978-7-5650-2587-7

I. ①机… II. ①唐… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材
IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 003976 号

机械制造技术基础

唐远志 主编

责任编辑 马成勋

出版 合肥工业大学出版社

地址 合肥市屯溪路 193 号

邮编 230009

电话 理工编辑部:0551-62903200

市场营销部:0551-62903163

网址 www.hfutpress.com.cn

E-mail hfutpress@163.com

版次 2016 年 2 月第 1 版

印次 2016 年 2 月第 1 次印刷

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印张 17.75

字数 408 千字

印刷 合肥学苑印务有限公司

发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2587-7

定价: 35.50 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

本书是针对应用型工科院校的学生而编写,重在掌握机械制造工艺基本理论、实用技能和解决工程实际问题的能力。

本书是作者在多年教学实践基础上,并结合工作经验、研究成果,考虑实用性,吸收最新机械制造工艺内容。作者长期从事机械制造工艺、装备技术的技术和研究工作;多次主持或参加“富康”“蓝鸟”等轿车生产的工艺、装备攻关;具有丰富的实践经验,使企业经济效益显著提高。增加了教材的实用性、新颖性,使读者能贴近实际了解、掌握汽车制造工艺的基本知识、基本理念。

全书共分为9章,内容包括:零件机加工工艺基本知识,金属切削原理与刀具、金属切削机床、机床夹具结构及设计、机床加工质量分析及控制、机械加工工艺规程的制定、机械装配工艺、典型零件加工工艺、先进制造技术。

本书将机加工工艺基本知识归到第1章讲解,然后再介绍各类技术知识,这样各类技术章节的内容简练、重点更为突出。在内容选用实际工作中使用的技术及知识,淘汰了落后的、已不使用的工艺。同时介绍了最新的实用的工艺。

考虑到学生的接受情况,全书力求实用、精炼。遵循学习机械制造工艺的认知规律。在叙述上大量采用插图表示工程含义,插图绘制细致精良,使学生迅速掌握要点,同时也培养学生“用图说话”的工程习惯。每章后面附有思考与练习题,便于学生抓住要点和提高对课程内容的理解。

本书可作为高等学校及专科学校的机械制造工程及相关专业教材,也可

作为从事机械设计、制造工艺及相关专业的工程技术人员参考用书。本书既可作为教科书也可作为车辆工程专业及相关专业学生实习参考书。

本书由湖北汽车工业学院唐远志教授、高级工程师编著。由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,恳请广大师生、读者及同仁多提宝贵意见。

于湖北汽车工业学院

2016年1月8日

目 录

第 1 章 机加工工艺基本知识	(1)
1.1 机械零件对加工精度的要求	(1)
1.2 生产工艺的基本知识	(3)
1.3 刀具基本知识	(7)
1.4 六点定位原理	(17)
1.5 零件几何精度的获得方法	(23)
1.6 机械装配工艺基本知识	(26)
思考与练习题	(28)
第 2 章 金属切削原理与刀具	(29)
2.1 切削过程及其物理现象	(29)
2.2 切削力与切削功率	(32)
2.3 切削热与切削温度	(36)
2.4 刀具磨损和刀具寿命	(39)
2.5 切削条件的选择	(45)
2.6 工件材料的切削加工性	(54)
思考与练习题	(57)
第 3 章 金属切削机床	(58)
3.1 机床的基本知识	(58)
3.2 机床的部件	(65)
3.3 常用机床介绍	(73)
思考与练习题	(93)
第 4 章 机床夹具结构及设计	(94)
4.1 机床夹具概述	(94)

4.2	工件定位方式及定位元件	(96)
4.3	定位误差计算	(102)
4.4	夹紧装置的设计	(106)
4.5	车床夹具	(112)
4.6	铣床夹具	(114)
4.7	钻床夹具	(118)
4.8	镗床夹具	(123)
	思考与练习题	(127)
第5章	机械加工质量分析及控制	(128)
5.1	机械加工精度概述	(128)
5.2	工艺系统的误差	(130)
5.3	工艺系统力变形引起的误差	(136)
5.4	工艺系统热变形引起的误差	(140)
5.5	加工误差的统计分析	(145)
5.6	机械加工表面质量	(150)
	思考与练习题	(156)
第6章	机械加工工艺规程制订	(158)
6.1	工艺规程概述	(158)
6.2	工艺路线分析与设计	(166)
6.3	加工余量与工序尺寸	(182)
6.4	工艺尺寸链	(187)
6.5	工艺过程经济分析	(192)
	思考与练习题	(193)
第7章	机械装配工艺	(195)
7.1	装配工艺概述	(195)
7.2	装配尺寸链	(199)
7.3	装配方法	(201)
7.4	装配工艺规程的编制	(206)
7.5	发动机装配工艺	(209)
7.6	车身装焊工艺	(213)
7.7	汽车整车装配工艺	(215)

7.8 某轿车装调规范	(221)
思考与练习题	(226)
第8章 典型零件加工工艺	(227)
8.1 缸体工艺	(227)
8.2 凸轮轴工艺	(237)
8.3 连杆工艺	(248)
8.4 齿轮工艺	(259)
思考与练习题	(267)
第9章 先进制造技术	(268)
9.1 成形加工技术	(268)
9.2 高速切削技术	(270)
9.3 难加工材料切削技术	(273)
9.4 刀具微雾润滑加工技术	(274)
思考与练习题	(275)
参考文献	(276)

第 1 章 机加工工艺基本知识

本章介绍机械零件制造工艺的基本知识。内容包括:机械零件对加工精度的要求、生产工艺的基本知识、刀具基本知识、六点定位原理、零件几何精度的获得方法以及机械装配工艺基本知识。

1.1 机械零件对加工精度的要求

1.1.1 机械零件对加工精度的要求

汽车是一种交通运输机械,下面以汽车为例说明机械零件对加工精度的要求。

汽车行驶中,受路况变化,工作状况也处于随机变化中。有时工作环境非常恶劣,因此汽车上许多零、部件是在高速、高温、高压和化学腐蚀的状态下工作的,这就决定了对有关零件要有许多的特殊要求。为保证零件的加工精度在机加工中要考虑以下几个问题:

1. 零件配合表面要有一定的表面质量

发动机中活塞、排气门、阀座等零件要耐高温、耐化学腐蚀,热膨胀小,导热性好而且配合表面要耐磨。高速旋转的各摩擦副要有良好的配合,足够的润滑。易产生噪声的零件,如变速箱齿轮等除了要有足够的强度和刚度外还要有很高的接触精度。

2. 要求有一定的尺寸精度

汽车的整车性能、寿命、安全性和可靠性等,取决于零件的尺寸精度、表面质量和装配质量是否达到产品图规定的要求,一般为 IT9~IT6。有的零件要求较高,活塞销外圆直径公差为 IT6,圆柱度公差 0.00125mm,表面粗糙度 $Ra=0.10\mu\text{m}$;气缸体的缸孔的要求为 IT8,圆柱度公差 0.01mm,表面粗糙度 $Ra=0.2\mu\text{m}$;载重车齿轮的精度等级 8-7-7 级,轿车齿轮的精度等级 7-6-6 级;气门锥面的角度公差为 $30'$,表面粗糙度 $Ra=0.8\mu\text{m}$ 等等。

3. 要求选用合适的材料

曲轴连杆机构要求高速旋转平稳性,并能承受交变载荷且具有足够的刚度。

汽车制造通常是大批量生产的,出于使用维护和生产节奏的要求,汽车整车部件的

装配方法多采用互换法或分组互换法装配法,以零件的加工精度来保证装配精度,从而保证汽车各项性能的要求和维修配件的互换需要。

4. 形状误差小于位置误差,位置误差小于尺寸误差

一定的尺寸精度必须有相应的几何形状和位置精度,一定的位置精度必须有相应的几何形状精度。对于一般机械加工,表面形状误差 $\approx$ 尺寸公差 $\times(30\%\sim50\%)$,表面位置误差 $\approx$ 尺寸公差 $\times(65\%\sim85\%)$ 。可知形状公差应限制在位置公差之内,位置公差应限制在尺寸公差之内,尺寸精度越高,形状、位置精度越高。

例如,过大的圆度误差很难得到准确的直径尺寸;两个平面本身的平面的误差很大,很难获得它们之间的平行度或垂直度。

5. 加工误差呈正态分布

加工误差呈正态分布就是要求加工工序稳定而不含有或少含变值系统误差,并有足够的工序能力,即要求尺寸分散范围 6σ 值小于公差值 T 。这是因为在整批工件合格的前提下,用互换法装配时,能获得良好的装配效果。用分组法装配时,保证装配时零件都能配套。

例如,轴与孔配合,就不希望出现极大值孔与极小值轴的配合,以便获得理想的间隙或过盈。若轴与孔的尺寸均为正态分布,即可达到这个目的。分组装配时,为使各对应组的零件数大致相等就必须要求轴与孔遵从统一分布规律。

1.1.2 表面粗糙度对零件性能的影响

1. 对耐磨性的影响

汽车上的很大一部分零件工作时都在进行相对运动,要求零件具有一定的耐磨性。零件表面越粗糙,配合表面间的实际有效接触面积越小,单位面积压力越大,表面越易磨损。但过于光滑的表面不利于润滑油的储存,还会增加表面的分子吸附作用,磨损也会加剧。

具有粗糙度的表面相贴合时,往往是凸峰顶部先接触。因此,实际接触面积大大小于理论接触面积,粗糙度越大,实际接触面积越小。在初期磨损阶段,因零件表面有较多的尖峰,实际接触面积小,因而磨损较快。随着磨损的加大,实际接触面积逐渐增大,单位面积载荷逐渐下降,磨损过程减缓而趋向稳定,进入正常磨损阶段。最后磨损继续发展,实际接触面积越来越大,产生了金属分子间的亲和力,使表面容易咬焊,从而表面粗糙度与初期磨损量的关系进入了急剧磨损阶段。

表面粗糙度对初期磨损量有直接的影响,在一定工作情况下,摩擦副表面有一最佳粗糙度值,过大或过小的粗糙度会使初期磨损量增大,使总的耐磨时间缩短,见图1-1。

一台新出厂的汽车在最初100~200km要在中速、小负荷状态下行驶,“称为走合”就是因为这时各部件处于初期磨损阶段。经过走合后,要更换重要部分的润滑后才能正常使用。

2. 对零件配合性能的影响

在间隙配合中,如果配合表面粗糙度较大,则在初期磨损阶段磨损量就大,造成零件的尺寸发生变化,使配合间隙量增大,改变了配合性质。

在过盈配合中,如果配合表面粗糙,则装配后表面的凸峰将被挤压平整,从而使实际

过盈量减小,减弱了过盈配合的结合强度。因此,在设计零件时,对于配合精度要求高的零件应该规定较小的表面粗糙度。

3. 对零件疲劳强度的影响

在交变载荷作用下,零件上的应力集中区容易产生和发展成疲劳裂纹,导致疲劳损坏。由于表面粗糙度的谷部在交变载荷作用下容易形成应力集中,因此表面粗糙度对零件疲劳强度有较大的影响。特别是在零件上硬力集中区的粗糙度,将大大降低零件的疲劳强度。

4. 对零件抗腐蚀性的影响

零件的表面粗糙度对耐腐蚀性也有影响,当零件在潮湿的空气中或在腐蚀性介质中工作时,会发生化学腐蚀或电化学腐蚀。由于粗糙表面的凹谷处容易积聚腐蚀性介质而发生化学腐蚀,或在两种材料表面粗糙度的凸峰间容易产生电化学反应而引起电化学腐蚀。所以,减小表面粗糙度可以提高零件的抗腐蚀性。

由于汽车某些零部件是在潮湿或腐蚀性介质中工作,此时,会发生电化学腐蚀或化学腐蚀。零件的凹凸出容易积聚腐蚀性介质,而发生化学腐蚀。如发动机中的燃烧废气中含有酸性物质,集聚在缸壁上面产生化学腐蚀,因此,减少表面微观几何形状误差,可提高零件的抗腐蚀性。

在表面残余拉应力的作用下,表面存在微小裂纹,增加了盈利腐蚀的敏感性。而表面的冷硬和表面残余压应力则将有助于提高零件的耐腐蚀性。

5. 对零件接触刚度的影响

表面粗糙度对零件的接触刚度有很大的影响,表面粗糙度越小,则接触刚度越高。故减小表面粗糙度是提高接触刚度的一个最有效的措施。另外,表面粗糙度对零件间的密封性和摩擦因数也有很大的影响,粗糙度小则密封性好、摩擦因数小;反之,则密封性差、摩擦系数大。

6. 对密封性的影响

许多汽车零件都有密封性的要求,一般情况下在零件上装有密封元件进行密封。此时零件表面的微观几何形状误差对密封元件的磨损有一定影响。表面粗糙度小,可延长密封元件使用寿命。

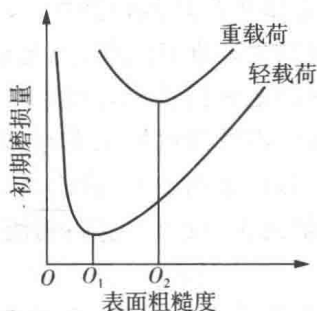


图 1-1 表面粗糙度与初期磨损量的关系

1.2 生产工艺的基本知识

1.2.1 生产过程

零件生产过程是将原材料加工为成品的全过程。生产过程包括主要生产过程和辅助生产过程。

主要生产过程包括:

- (1)生产准备工作,工艺设计、装备安装;
 - (2)毛坯制造和处理;
 - (3)零件的机械加工、热处理;
 - (4)产品的装配、检验、调试、油漆、包装和发交等。
- 辅助生产过程包括:物流、仓储、动力供应、设备维修等。

1.2.2 机加工工艺过程

在生产过程中,凡属直接改变生产对象的形状、尺寸、性能和相对位置关系的过程,称为工艺过程。工艺过程是生产过程中的主体。

主要生产过程中的零件机械加工、产品装配为机械加工工艺过程,是生产过程中的一个局部过程。其特点是直接改变原材料或毛坯形状、尺寸和性能。

工艺过程又可具体分为机械加工、铸造、锻造、冲压、焊接、特种加工、热处理、表面处理和装配等工艺过程。

在具体的机加工生产条件下,对于某个零件或产品,用文字按规定的表格形式书写成的工艺文件,称为机械加工工艺规程,简称工艺规程。

工艺规程是在总结实践经验的基础上,根据科学理论和必要的工艺试验制订的,用于规定产品或零部件制造工艺过程 and 操作方法,是组织生产和进行技术准备的根本依据。

当然,工艺规程也不是一成不变的,随着科学技术的进步,一定会有新的更为合理的工艺规程代替旧的相对不合理的工艺规程。但工艺规程的修订必须经过充分的试验论证,并须严格履行一定的审批手续。

机械加工工艺过程分为若干工序,即毛坯到零件的转变过程是由一个或若干个按顺序排列的工序所组成的,并按照一定的顺序依次完成所有加工内容。

1.2.3 机加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程由按一定的顺序排列的若干道工序组成,而每一个工序又可细分为装夹、工位、工步及走刀等。

1. 工序

指由一个(组)工人在同一个地点,对一(几)个工件所连续完成的加工作业过程。一个工艺过程需要包括哪些工序,是由被加工零件的结构复杂程度、加工精度要求及生产类型所决定的。

2. 装夹

装夹是指工件在夹具中占有正确的位置,然后固定。目的是使工件在加工过程中保持定位位置不变。

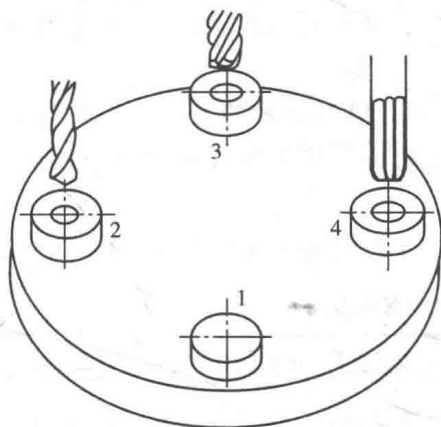
3. 工位

工位就是完成工序任务的位置。

一道工序有一个工位也可有多个工位。一道工序有多工位加工方法,既可以减少装夹次数,提高加工精度,并减轻工人的劳动强度;又可以使各工位的加工与工件的装卸同时进行,提高劳动生产率。图1-2所示为一利用回转工作台,在一次安装中依次完成装卸工件、钻孔、扩孔、铰孔三个工位加工的例子。

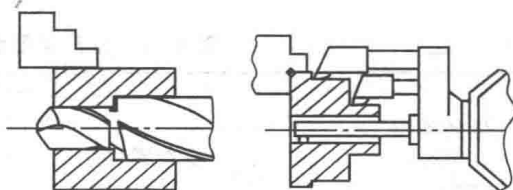
4. 工步

工步是指一把切削刀具加工一个表面的工作内容。应注意的是,带回转刀架的机床如转塔车床或带自动换刀装置的机床如加工中心,当更换不同刀具时,即使加工表面不变,也属不同工步。在一个工步内,若有几把刀具同时加工几个不同表面,称此工步为复合工步,见图1-3a、图1-3b。采用复合工步可以提高生产效率。



工位1: 装卸工件 工位2: 钻孔
工位3: 扩孔 工位4: 铰孔

图1-2 回转工作台



a) 钻孔、扩孔 b) 转塔车床复合工步

图1-3 复合工步

5. 走刀

每次工作进给所完成的工步称为一次走刀。

1.2.4 生产类型与工艺特征

生产纲领是指企业在计划期内应生产的产品产量和进度计划。企业根据市场要求和自身能力决定生产计划。在计划期内应当生产的产品数量称为生产纲领。计划期通常为一年,零件的年生产纲领 N 按下式计算:

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

式中:

Q ——产品年产量(件/年);

n ——每台产品中该零件数量(件/台);

α ——备品率;

β ——废品率。

生产纲领主要反映了企业的生产的能力。人们按照产品的生产纲领、投入生产的批

量,可将生产分为:单件生产、批量生产和大量生产三种类型,这就是生产类型。它反映了企业生产专业化程度。

1. 单件生产

单个生产不同结构和尺寸的产品,产品很少重复甚至不重复,这种生产称为单件生产。如新产品试制、维修车间的配件制造属此种生产类型。其特点是:生产的产品种类较多,而同一产品的产量很小,工作地点的加工对象经常改变。

2. 批量生产

一年中分批轮流制造几种不同的产品,每种产品均有一定的数量,工作地点的加工对象周期性地重复,这种生产称为成批生产。如汽车零部件的生产即属这种生产类型。其特点是:产品的种类较少,有一定的生产数量,加工对象周期性地改变,加工过程周期性地重复。

同一产品或零件每批投入生产的数量称为批量。根据批量的大小又可分为大批量生产、中批量生产和小批量生产。小批量生产的工艺特征接近单件生产,大批量生产的工艺特征接近大量生产。

根据前面公式计算的零件生产纲领,参考表 1-1 即可确定生产类型。

表 1-1 生产类型和生产纲领的关系

生产类型	生产纲领(件/年)		
	重型零件	中型零件	轻型零件
单件生产	≤ 5	≤ 10	≤ 100
小批生产	5~100	10~200	100~500
中批生产	100~400	200~500	500~5000
大批生产	400~1000	500~5000	5000~50000
大量生产	> 1000	> 5000	> 50000

不同生产类型的制造工艺有不同特征,各种生产类型的工艺特征见表 1-2。

表 1-2 各种生产类型的工艺特点

工艺特点	单件生产	批量生产	大量生产
毛坯制造方法	铸件用木模造型,锻件用自由锻	铸件用金属模造型,部分锻件用模锻	铸件用金属模机器造型,锻件用模锻
零件互换性	无互换、互配零件成对制造,用修配法装配	多数零件有互换性,少数用修配法	全部零件有互换性,某些精度高的配合采用分组装配

(续表)

工艺特点	单件生产	批量生产	大量生产
机床设备及其布置	通用机床;按类别和规格排列	部分通用机床,部分专用机床;按零件分“工段”排列	专用机床和自动机床,按流水线形式排列
夹具	少数专用夹具,用画线和试切法	多数用专用夹具,部分用划线法	专用夹具
刀具和量具	通用刀具、万能量具	较多采用专用刀具、量具	高生产率刀具、量具
技术工人	技术熟练	一定熟练程度	维修工要求高,操作工要求低
工艺文件	简单工艺过程卡	详细工艺过程卡,关键工序有工序卡	工艺过程卡、工艺卡和工序卡

3. 大量生产

同一产品的生产数量很大,大多数工作地点经常按一定节奏重复进行某一零件的某一工序的加工,这种生产称为大量生产。其特点是:同一产品的产量大,工作地点较少改变,加工过程重复。大量生产可以摊薄装备的成本,从而提高单件产品经济效益。汽车生产的大厂就属此种生产类型。

1.3 刀具基本知识

1.3.1 金属切削运动与切削要素

金属切削刀具与工件按一定规律的轨迹做相对运动,刀具切削刃切除工件上多余的金属,使工件的形状、尺寸、相互位置精度及表面质量达到图纸要求。切削加工有两个基本要素:成形运动、刀具。

对于机床运动分析,首先应分析工件加工表面及其形成方法,在此基础上分析机床必须具备的运动以及这些运动的性质,然后再进一步了解机床运动的传动、实现机床所需运动的传动机构的结构以及机床运动的调整方法。这个运动分析的过程被称之为:“表面—运动—传动—机构—调整”认识机床的方法。

1. 切削运动

各种切削加工中的成形运动,按照它们在切削过程中所起的作用,可以分为主运动和进给运动两种,而这两个运动的向量和称为合成切削运动。所有切削运动的速度及方向都是相对于工件定义的。

(1) 主运动

由机床或手动传给的工具与工件之间主要的相对运动。它使刀具的切削部分切入工件材料,使被切金属层转变为切屑,从而形成工件新表面。

主运动的特征:消耗的功率比较大,速度也比较快。在表面成形运动中,必须有且只能有一个主运动。主运动的方向:切削刃上选定点相对工件的瞬时主运动方向。主运动的大小(切削速度):切削刃上选定点相对工件的主运动的瞬时速度。

如图 1-4 所示,在车削时,工件的回转运动是主运动。在刨削时,刀具或工作台的往复直线运动是主运动,如图 1-5 所示。在铣削和磨削时,刀具或砂轮的回转运动是主运动。主运动可能是简单的成形运动,也可能是复合的成形运动。

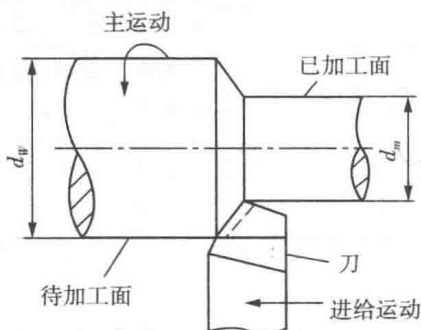


图 1-4 外圆车削时主运动与加工面

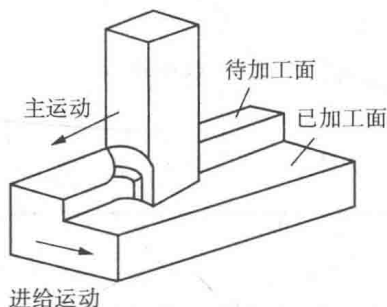


图 1-5 平面刨削时切削运动与加工面

(2) 进给运动

由机床或手动传给刀具或工件的运动。它配合主运动连续不断地切削工件,同时形成具有所需几何形状的已加工表面。

进给运动的特征:消耗的功率较小,速度较低。进给运动可能是连续的,也可能是间歇的。可以是一个,也可以是多个,也可能没有。可以是简单运动,也可以是复合运动。

进给运动的方向:切削刃上选定点相对于工件的瞬时进给运动的方向。

进给运动大小(进给速度 V_c):切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度。

在车床上车削圆柱面时,刀架带动车刀的连续纵向运动是连续的进给运动。

在牛头刨床上加工平面时,刨刀每往复一次,工作台带工件横向间歇移动一次是间歇的进给运动。

在外圆磨床上磨削圆柱面时,工件的旋转运动,工件的轴向运动、砂轮的径向运动均为进给运动。

(3) 合成切削运动

由同时进行的主运动和进给运动合成的运动。

合成切削运动的方向:切削刃上选定点相对于工件的瞬时合成切削运动的方向。

合成切削运动的大小(合成切削速度 V_c):切削刃上选定点相对于工件的合成切削运动的瞬时速度。

合成切削速度角 η :主运动方向和合成切削运动方向之间的夹角。在工作进给剖面

内度量。

$$V_e = V_c / \cos \eta \quad (1-2)$$

2. 切削用量

切削用量三要素：切削速度 V_c 、进给量 f 、背吃刀量 a_p 。

(1) 切削速度

主运动为回转运动时，切削速度的计算公式如下：

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} \text{ (m/min 或 m/s)} \quad (1-3)$$

式中：

d ——工件或刀具上某一点的回转直径(mm)；

n ——工件或刀具的转速(r/min 或 r/s)。

在生产中，磨削速度的单位习惯上用 m/s(米/秒)，其他加工的切削速度单位用 m/min(米/分)。

由于切削刃上各点的回转半径不同，或切削刃上各点对应的工件直径不同，因而切削速度也就不同。考虑到切削速度对刀具磨损和已加工表面质量有影响，在计算切削速度时，应取最大值。

(2) 进给速度 V_f (进给量 f 、每齿进给量 f_z)

进给速度 V_f ：单位时间内的进给位移量，单位是 mm/min。

进给量 f ：工件或刀具每回转一周时二者沿进给方向的相对位移量，单位是 mm/r。

每齿进给量 f_z ：多刃刀具如铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等每移动一个刀齿的进给位移量，单位是 mm/Z。

进给速度 V_f 、进给量 f 和每齿进给量 f_z 有如下关系：

$$V_f = f n = f_z z n \quad (1-4)$$

(3) 背吃刀量 a_p

对于车削和刨削来说切削深度 a_p 为：工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离，单位为 mm。外圆车削时切削深度为： $a_p = (d_w - d_m)/2$ ，钻削时切削深度为： $a_p = d_m/2$ 。

3. 切削时的工件表面

待加工表面：加工时即将被切除的表面。

已加工表面：已被切去多余金属而形成符合要求的工件新表面。

过渡表面：加工时由主切削刃正在切削的那个表面，它是待加工表面和已加工表面之间的表面。

在切削过程中，切削刃相对于工件运动轨迹面是工件上的过渡表面和已加工表面。包括两个要素：一是切削刃，二是切削运动。不同形状的切削刃与不同的切削运动组合，即可形成各种工件表面。

4. 切削层参数

切削层的尺寸称为切削层，参数有：切削厚度 h_D 、切削宽度 b_D 、切削面积 A_D 。切削层