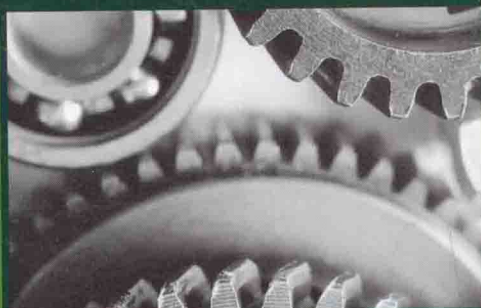


普通高等教育“十二五”重点规划教材

Nucleus
新核心

理工基础教材



现代机械 制造技术基础

黄宗南 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

现代机械制造技术基础

Foundation of Modern Mechanical Manufacture Technology

黄宗南 主编

上海交通大学出版社

内容简介

这是一本跟上时代发展步伐,以现代制造技术为背景的机械制造技术基础教材和技术参考书。本着重基础、低重心、宽面向的改革创新思路,精选并有机整合了切削加工的基本原理与知识、常用的数控机床及加工中心、现代切削加工刀具、数控机床夹具、机械加工精度及表面质量分析、数控加工工艺、机械产品装配工艺,包括增材制造的非常规加工方法及机械产品质量管理方面的内容,使读者能快速了解并掌握现代机械制造技术的特点、基本理论、基本方法以及关键技术,具备更好地解决现代机械加工实际工程问题的能力。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业以及相关专业(工业设计、工业工程、动力工程、化工机械等专业)的教材,也可作为相关专业工程人员和研究生的参考读物。

现代机械制造技术基础

Foundation of Modern Mechanical Manufacturing Technology

图书在版编目(CIP)数据

现代机械制造技术基础/黄宗南主编. —上海:上海交通大学出版社,2014

新核心理工基础教材

ISBN 978-7-313-11629-1

I. ①现… II. ①黄… 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(2014)第 128778 号

现代机械制造技术基础

主 编:黄宗南

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海华文印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:428千字

版 次:2014年8月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-11629-1/TH

定 价:32.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:18

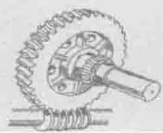
印 次:2014年8月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-56889281

前 言



机械制造技术基础课程是机械类专业学生的一门主干技术基础课,它以介绍有关机械制造技术的基础知识、基本理论和基本方法为主线,以培养学生分析和解决有关机械制造问题的基本能力为目标,力求使学生通过课程学习能够对机械制造技术有一个把握并具备实际应用能力。

机械制造具有悠久的历史,它推动着人类文明的发展。长期以来,通过学习机械制造技术方面的理论和知识已成为许多学生了解和掌握机械制造技术的主要途径。随着科技、经济、社会的日益进步和快速发展,特别是计算机和信息时代的到来,机械制造同样也受到了冲击和影响,数控技术的导入、增材制造技术等产生,使得机械制造技术发生了巨大的变化和进步。因此,编写一本能迎合时代发展要求的教科书和技术参考书,使学生通过教授和学习,能够掌握更接近现代实际工程要求的知识,显得非常必要。

本书对于金属切削原理及刀具、金属切削机床、机械制造工艺学及机床夹具设计方面的基本原理和方法,按照少而精的原则加以提炼,突出专业基础内容。为了能够使书中的知识更具有先进性、实用性和应用性,结合了当今机械加工特点,以数控机床加工作为平台,对刀具、夹具、工艺规程等内容进行了展开。此外,还引入具有革命性的新制造方法,如增材制造。在现代制造中,产品质量控制已是制造过程中不可或缺的重要部分之一,因此,书中的最后章节编入了质量管理方面的基本知识内容,使全书内容能贯穿整个制造过程中的各环节,进一步提高了知识的系统性。本书内容简明扼要、重点突出、体系完整、实用性强,便于学生自学和应用,同时也给授课教师留有发挥特长的余地。

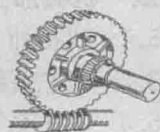
本书作者是在第一线教学的上海大学教师,其中有多位在海外工业发达国家留学或进修过,并有企业工作经历。全书由黄宗南主编和统稿。黄宗南编写了第1章、第2章、第4章的4.1~4.4节、第5章、第6章、第7章的7.3节、第8章;王永国编写了第3章;李永康编写了第4章的4.5节;洪跃编写了第7章的7.1~7.2节、第9章。在教材的编写过程中,得到了许多国内外专家的指点和帮助,在此谨表示感谢!书中部分资料和数据引用了参考资料栏中的内容,在此对所参阅资料的作者们深表感谢!

制造技术内容广泛、学科跨度大,对于书中存在的疏漏和不足,恳求专家和读者提出宝贵意见,不吝指正。

编 者

2014年3月

目 录

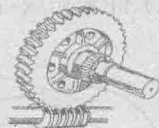


第 1 章 切削加工基本知识及优化方法	1
1.1 基本定义和刀具材料	1
1.2 切削过程中的物理现象	7
1.3 切削加工的优化	19
习题	21
第 2 章 切削加工方法及其数控机床	22
2.1 表面形成与机床运动	22
2.2 数控机床组成和分类	24
2.3 车削加工及其数控车床	32
2.4 孔和面加工及其数控机床	39
2.5 其他加工及其机床	50
习题	58
第 3 章 数控机床刀具	60
3.1 车刀	60
3.2 铣刀	64
3.3 孔加工刀具	67
3.4 其他加工刀具	77
3.5 刀柄种类及其应用	80
习题	88
第 4 章 工件的安装和机床夹具	89
4.1 概述	89
4.2 工件的定位	91
4.3 定位误差的分析与计算	101
4.4 工件的夹紧	108
4.5 数控机床夹具与应用	116
习题	127

第5章 机械加工精度与表面质量	131
5.1 机械加工精度概述	131
5.2 工艺系统的几何误差	132
5.3 工艺系统力和热效应产生的误差	135
5.4 加工误差的统计分析	140
5.5 机械加工表面质量	145
习题	153
第6章 机械加工工艺规程	155
6.1 机械加工工艺基础	155
6.2 数控车削加工工艺	173
6.3 数控铣削加工工艺	182
6.4 加工中心工艺	196
习题	207
第7章 非常规加工方法	211
7.1 概述	211
7.2 典型的非常规加工方法	213
7.3 增材制造	224
习题	229
第8章 机械装配工艺基础	230
8.1 机器装配概述	230
8.2 装配工艺规程的制订	232
8.3 装配尺寸链及计算	237
8.4 保证装配精度的方法	242
习题	254
第9章 质量管理基础	256
9.1 质量管理概述	256
9.2 质量检验	258
9.3 质量分析工具	261
9.4 质量改善方法简介	274
习题	277
参考文献	279

第 1 章

切削加工基本知识及优化方法



在机械制造业中,金属切削加工起着举足轻重的作用,这主要是它具有以下特点:①能获得很高的精度和表面质量;②对被加工材料的广泛适应性;③对工件几何形状的广泛适应性;④对生产批量的适应性。所以掌握切削加工方面的知识显得非常重要。通过本章的学习,要求基本掌握切削方面的重要基础知识,并能了解现代切削加工方面的一些优化方法,为后续的学习和研究打好基础。

1.1 基本定义和刀具材料

切削加工过程是刀具与工件相互作用的过程。加工时,安装在机床上的刀具要从工件上切去一部分多余的材料,使工件得到符合技术要求的形状、尺寸精度和表面质量。为了实现这一过程,切削加工必须具备三个条件:工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动;刀具材料必须具有一定的切削性能;刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度等。因此,本节的内容主要是阐明与这三个条件有关的一些基本概念和知识。

1.1.1 运动与切削用量

1. 切削运动

在切削加工时,要将工件上的多余材料切除,工件与刀具之间就必须要有相对运动,即切削运动。通常切削运动按其作用可分为主运动和进给运动两种。

1) 主运动

使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动,称为主运动。这个运动的速度最高,消耗功率最大。例如,车削时的工件旋转运动,铣削时的刀具旋转都是主运动(见图 1-1)。主运动可以是旋转运动,也可以是直线运动。它可以由刀具或工件来完成。通常,在切削运动中主运动只有一个。

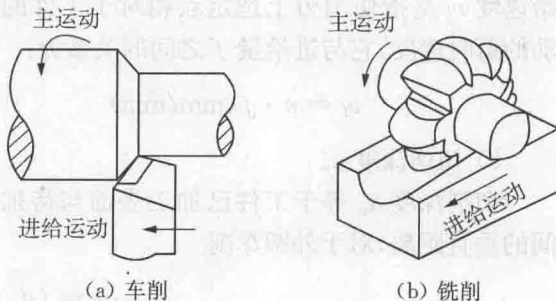


图 1-1 切削运动

2) 进给运动

使主运动能继续切除工件上多余的材料,以便形成所需工件表面的运动,称为进给运动。

例如车外圆时车刀的纵向连续直线进给运动和铣削时的工件连续直线进给运动(见图 1-1)。进给运动的形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组合。进给运动可以是多个,它可以由刀具或工件来完成,消耗功率比主运动小。

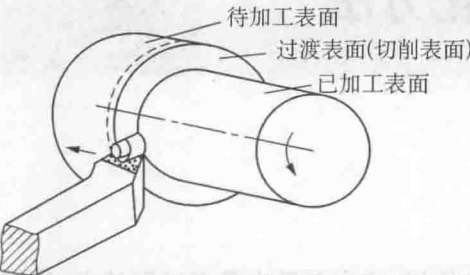


图 1-2 车削加工时的工件加工表面

2. 工件加工表面

切削过程中,工件上多余的材料不断地被刀具切除而转变为切屑,因此,工件在切削过程中同时存在着三个不同的变化着的表面(见图 1-2)。

(1) 已加工表面——工件上经刀具切削后产生的表面;

(2) 待加工表面——工件上有待切除的表面;

(3) 过渡表面——刀刃正在切削的表面,总是处在加工表面和待加工表面之间。

3. 切削用量

切削用量是指切削速度、进给量和切削深度(背吃刀量)三者的总称。切削用量是调整机床用的参量,并且可用它对主运动和进给运动进行定量的表述,它包括以下三个要素。

1) 切削速度 v

它是切削加工时,刀刃上选定点相对于工件的主运动速度。刀刃上各点的切削速度可能是不同的,一般,切削速度是指刀刃上的最大切削速度。当主运动为旋转运动时,刀具或工件最大直径处的切削速度就是该加工时的切削速度,由下式确定:

$$v = \pi d n / 1000 (\text{m/min}) \quad (1-1)$$

式中: d ——完成主运动的刀具或工件的最大直径(mm);

n ——主运动的转速(r/min)。

2) 进给量 f

刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量称为进给量,可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量(见图 1-3),其单位为 mm/r 或 mm/st。进给速度 v_f 是指切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度,它与进给量 f 之间的关系为:

$$v_f = n \cdot f (\text{mm/min}) \quad (1-2)$$

3) 切削深度 a_p

切削深度 a_p 等于工件已加工表面与待加工表面间的垂直距离,对于外圆车削

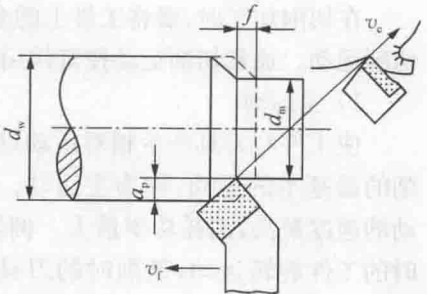


图 1-3 切削用量三要素

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (1-3)$$

式中: d_w ——工件加工前直径(mm);

d_m ——工件加工后直径(mm)。

1.1.2 刀具的几何参数和切削层参数

1. 刀具的几何参数

切削刀具的种类繁多,但是它们参加切削的部分在几何特征上却具有共性。外圆车刀的切削部分可以看作是各类切削部分的基本形态;其他各类刀具,都是在这个基本形态上演变出各自的特点。因此,在确立刀具基本定义时,常以外圆车刀为基础。

1) 外圆车刀切削部分的组成

如图1-4所示,外圆车刀由夹持部分和切削部分所组成。

切削部分一般由三面二刃一尖组成,它们的名称及定义如下:

前面 A_f ——刀具上切屑流过的表面。

主后面 A_a ——刀具上与前面相交形成主切削刃的面,亦即与工件过渡表面相对的面。

副后面 A'_a ——刀具上同前面相交形成副切削刃的面,即与工件已加工面相对的面。

主刀刃 S ——前面和主后面的交线,它负责主要切削工作。

副刀刃 S' ——前面和主副后刀面的交线,它配合主切削刃最终形成已加工表面。

刀尖——指主刀刃与副刀刃的交点。为了加强刀尖强度,一般将刀做成圆弧或折线过渡刃。

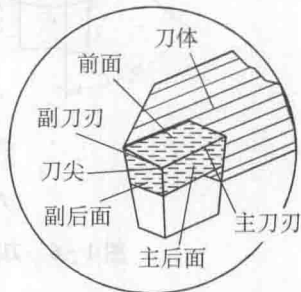


图1-4 外圆车刀的切削部分组成

2) 车刀切削部分的主要角度

(1) 参考系。

刀具要从工件上切除余量,就必须具有一定的几何角度。为了适应刀具在设计、制造、刃磨和测量时的需要,选取一组几何参数作为参考系,此参考系称为静止参考系。选择刀具的静止参考系有两点假设:

运动假设:假设刀具的进给运动速度为零。

安装假设:假设刀具安装时刀尖与工件的轴线等高;刀杆与工件的轴线垂直。

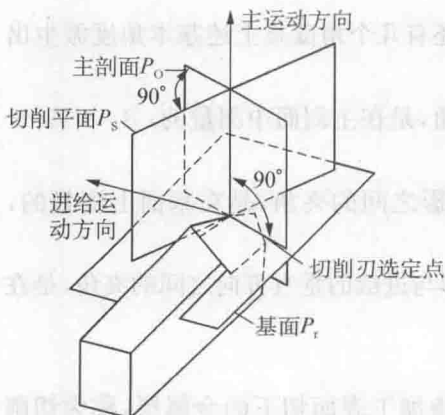


图1-5 正交平面参考系

图1-5是刀具的正交平面参考系,属静止参考系。

① 基面 P_r 。只通过切削刃上某选定点 x ,与主运动假定方向相垂直的平面。对车刀而言,其基面平行于刀具的底面。基面是刀具制造、刃磨、测量时的定位基准。

② 切削平面 P_s 。只通过刀刃上某选定点,与刀刃相切且垂直于基面 P_r 的平面。

③ 主剖面 P_o 。通过刀刃上某选定点 x ,同时垂直于基面与切削平面的平面。故主剖面必然垂直于刀刃在基面 P_r 上的投影。

显然,在正交平面参考系中的 P_r , P_s , P_o 三平面是相互垂直的。

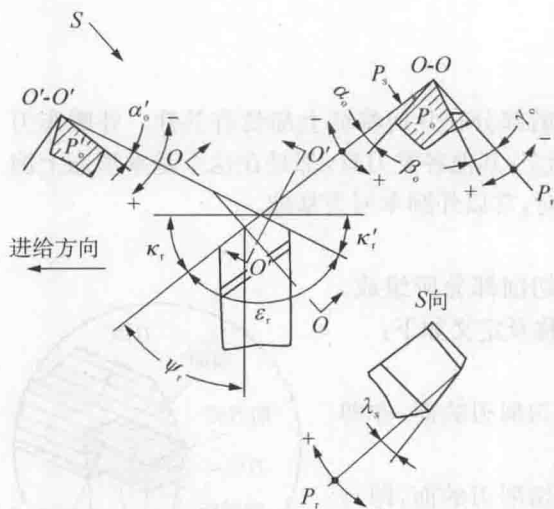


图 1-6 刀具角度

(2) 刀具标注角度。

刀具上的标注角度直接关系到刀具的切削性能、强度和耐用度,是刀具上很重要的几何参数。这里以外圆车刀为例,说明其正交平面参考系中各标注角度的含义,如图 1-6 所示。

① 前角 γ_o 。前角 γ_o 是刀具前面与基面之间的夹角,是在主剖面 P_o 中测量的角度。前面与切削平面之间的夹角小于 90° 时,前角为正;大于 90° 时,前角为负;前面与基面平行时,前角为零。一般可以认为,正前角越大,则刀具越锋利。

② 后角 α_o 。后角 α_o 是刀具主后面与切削平面之间的夹角,也是在主剖面 P_o 中测量的角度。主后面与基面的夹角小于

90° 时,后角为正;大于 90° 时,后角为负;主后面垂直于基面时,后角为零(注意:为了避免切削过程中刀具主后面与工件加工表面间有过大的摩擦,后角必须大于 0°)。

③ 主偏角 κ_r 。主偏角 κ_r 是主刀刃在基面上的投影与假定的进给方向之间的夹角,是在基面 P_r 上测量的角度。

④ 副偏角 κ'_r 。副偏角 κ'_r 是副刀刃在基面上的投影与假定的进给方向之间的夹角,也是在基面 P_r 上测量的角度。

⑤ 副后角 α'_o 。副后角 α'_o 是刀具副后面与副切削平面之间的夹角,是在副剖面中测量的角度。

⑥ 刃倾角 λ_s 。刃倾角 λ_s 是主刀刃与基面之间的夹角,是确定主刀刃位置的一个标注角度,在切削平面内测量。当刀尖是切削刃上最高点时,刃倾角为正;当刀尖是切削刃上最低点时,刃倾角为负。 λ_r 是与排屑方向有关的角, $\lambda_s = 0$ 时的切削称为正切削或直角切削, $\lambda_s \neq 0$ 时的切削称为斜切削或斜角切削。

上述 6 个角度是刀具上的基本角度,此外,刀具上还有几个角度是上述基本角度派生出来的,其中有:

⑦ 楔角 β_o 。楔角 β_o 是刀具前面与后面之间的夹角,是在主剖面中测量的, $\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o)$ 。

⑧ 刀尖角 ϵ_r 。刀尖角 ϵ_r 是主、副刀刃在基面上投影之间的夹角,是在基面上测量的, $\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$ 。

⑨ 余偏角 ψ_r 。余偏角 ψ_r 是主刀刃在基面上的投影与进给的垂直方向之间的夹角,是在基面上测量的, $\psi_r = 90^\circ - \kappa_r$ 。

2. 切削层参数

在切削过程中,刀具的刀刃在一次走刀中从工件待加工表面切下的金属层,称为切削层。切削层参数就是指的这个切削层的截面尺寸,它决定了刀具切削部分所承受的负荷和切屑的尺寸大小。现以外圆车削为例来说明切削层参数的定义。如图 1-7 所示,车刀主刀

刃上任意一点相对于工件的运动轨迹是一条螺旋线,整个主刀刃切出一个螺旋面,当工件每转一周,车刀沿工件轴线移动一个进给量 f 的距离,主刀刃及其对应的工件切削表面也在连续移动中由位置 I 移至相邻位置 II,因而 I、II 之间的一层金属被切下。通常,这一切削层的参数都在过刀刃上某选定点并与该点主运动方向垂直的平面内定义,并在不考虑进给运动影响的基面内观察和度量。

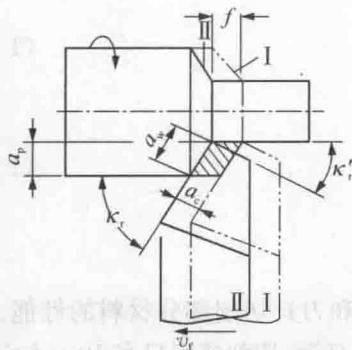


图 1-7 切削层参数

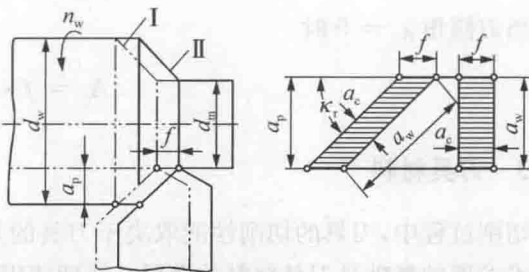


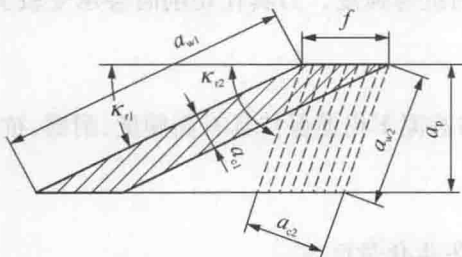
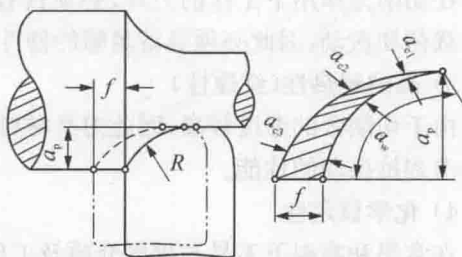
图 1-8 外圆纵车时切削层的参数

1) 切削厚度 a_c

切削厚度 a_c 是在垂直于切削刃的方向上度量的切削层尺寸。若车刀主刀刃为直线,且刃倾角 $\lambda_s = 0$,由图 1-8 可知:

$$a_c = f \cdot \sin \kappa_r \quad (1-4)$$

当主偏角 κ_r 变化时,切削厚度 a_c 将随之变化,如图 1-9 所示。 a_c 的大小能代表单位长度切削刃上工作负荷的大小。若车刀刃为圆弧或任意曲线,则对应于切削刃上各点的切削厚度是不相等的,如图 1-10 所示。

图 1-9 κ_r 变化不同时 a_c 和 a_w 的变化图 1-10 曲线切削刃工作时的 a_c 和 a_w

2) 切削宽度 a_w

沿加工表面度量的切削层尺寸称为切削宽度。若车刀主刀刃为直线,且刃倾角 $\lambda_s = 0$ (见图 1-8)时,有

$$a_w = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-5)$$

可见,在进给量 f 和切削深度 a_p 一定的条件下,主偏角 κ_r 越大,则切削厚度 a_c 也越大,但切削宽度 a_w 越小(见图 1-9);当主偏角 κ_r 越小时,切削厚度 a_c 越小,切削宽度 a_w 越大;当

刃倾角 $\lambda_s = 0^\circ$, 且 $\kappa_r = 90^\circ$ 时, 有

$$a_c = f \cdot a_w = a_p$$

切削宽度 a_w 对刀具的散热性影响很大, a_w 大则刀具散热性能良好。

3) 切削面积 A_c

切削面积 A_c 是切削层在基面内的面积。表达式为

$$A_c = a_c \cdot a_w \quad (1-6)$$

当刃倾角 $\lambda_s = 0$ 时

$$A_c = f \cdot a_p \quad (1-7)$$

1.1.3 刀具材料

切削过程中, 刀具的切削性能取决于刀具的几何形状和刀具切削部分材料的性能。切削技术发展的基础是刀具材料的发展。早期使用的碳素工具钢, 切削速度只有 10 m/min 左右; 20 世纪初出现高速钢刀具, 切削速度提高到几十米每分钟; 30 年代出现了硬质合金刀具, 切削速度提高到一百到几百米每分钟; 陶瓷刀具和超硬材料刀具的出现, 使切削速度提高到 1 000 m/min 以上。新刀具材料的出现, 推动了整个切削加工技术和机床设备的发展。

1. 刀具材料应具备的性能

刀具材料必须满足以下几方面的性能要求:

1) 高硬度和耐磨性

刀具切削部分的硬度, 必须高于工件材料的硬度才能切下切屑; 另外, 为了保持刀刃的锋利, 刀具材料应具有较好的耐磨性。一般来说, 刀具材料的常温硬度应在 HRC60 以上。

2) 足够的强度和韧性

在切削力作用下工作的刀具, 必须具有足够的抗弯强度。刀具在切削时会承受较大的冲击载荷和振动, 因此必须具备足够的韧性。

3) 高的耐热性(红硬性)

由于切削区的温度较高, 因此刀具材料要有在高温下仍能保持具有高硬度、耐磨、抗弯、抗冲击和抗振动的性能。

4) 化学稳定性

在常温 and 高温下不易与周围介质及工件材料发生化学反应。

5) 良好的工艺性

为了便于刀具的制造和刃磨, 刀具材料应具有良好的切削加工性和可磨削性, 对于工具钢还要求热处理性能好。

2. 常用刀具材料的种类、性能和用途

常用刀具材料主要是工具钢(碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、硬质合金、陶瓷材料和超硬材料。其中碳素工具钢和合金工具钢只在一些手工工具或低速切削工具中使用, 而陶瓷材料和超硬材料或因强度较低、脆性较大, 或因成本太高, 目前还仅用于某些有限的场合。目前作为刀具材料使用最多的是硬质合金。表 1-1 列出了刀具材料的种类、性能和用途。

表 1-1 常用刀具材料的种类、性能和用途

种类	常用牌号	硬度 /HRC(HRA)	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	红硬性 /℃	工艺性能	用途
优质碳素工具钢	T8A~T10A T12A, T13A	60~65 (81~84)	1.16	200	可冷热加工成形、刃磨性好	手动工具, 如锉刀、锯条等
合金工具钢	9SiCr, CrWMn	60~65 (81~84)	2.35	250~300	可冷热加工成形、刃磨性好, 热处理变形小	用于低速成形刀具, 如丝锥、板牙、绞刀
高速钢	W18Cr4V W6Mo5Cr4V2	63~70 (83~86)	1.96~ 4.41	550~600	可冷热加工成形、刃磨性好, 热处理变形小	中速及形状复杂的刀具, 如钻头、铣刀等
硬质合金	YG8, YG6 YT15, YT30	(89~93)	1.08~ 1.16	800~ 1 000	粉末冶金成形, 多镶片使用, 性较脆	用于高速切削刀具, 如车刀、刨刀、铣刀
涂层刀具	TiC, TiN TiN-TiC	3 200HV	1.08~ 1.16	1 100	在硬质合金基体上涂覆一层 5~12 μm 厚的 TiC, TiN 材料	同上, 但切削速度可提高 30% 左右。同等速度下寿命提高 2~5 倍多
陶瓷	SG4, AT6	(93~94)	0.4~ 0.785	1 200	硬度高于硬质合金, 脆性略大于硬质合金	精加工优于硬质合金, 可加工淬火钢等
立方碳化硼(CBN)	FD, LBN-Y	7 300~ 9 000HV		1 300~ 1 500	硬度高于陶瓷, 性脆	切削加工优于陶瓷, 可加工淬火钢等
人造金刚石		10 000HV 左右		600	硬度高于 CBN, 性脆	用于非铁金属精密加工, 不宜切削铁类金属

1.2 切削过程中的物理现象

在切削过程中, 将产生一系物理现象, 如切削变形、积屑瘤、切削力、切削热、刀具磨损等。本节主要分析它们产生的原因、变化规律以及对切削加工的影响。研究金属切削过程中的物理现象, 对于保证加工质量、提高生产率、降低生产成本和发展切削加工技术都具有十分重要的意义。

1.2.1 切屑形成和积屑瘤

1. 切屑形成

金属切削过程实质上是一种挤压过程。切削过程中, 刀具与工件、刀具与切屑接触区域内的物理状态, 切削刃及其邻近区域部位处的金属层如图 1-11 所示, 可划分成三个变形区。

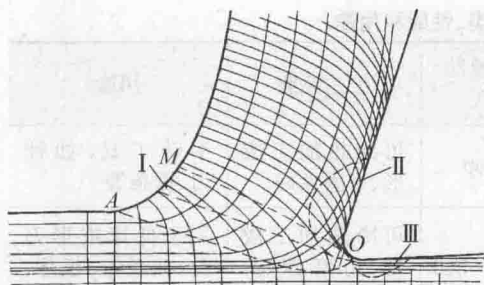


图 1-11 金属切削过程中的 3 个变形区

第一变形区 I：被切削的金属层在刀具前面挤压作用下，首先发生弹性变形，当最大切应力达到工件材料的屈服极限时，沿 OA 线开始发生剪切滑移，到 OM 线终止。

第二变形区 II：切屑沿刀具面排出时会与前面发生挤压和摩擦，这一过程使得靠近刀具前面处的切屑底层金属纤维化，其方向基本上和前面相平行。

第三变形区 III：在切削层金属中，位于工件已加工表面近刃口圆弧处的区域上的一层材料受到了刃口圆弧挤压作用。在此作用下，这层材料产生弹性和塑性变形。

金属切屑的形成过程：金属在受到刀具前面的挤压下，将发生塑性剪切滑移变形，当剪应力达到并超过工件材料的屈服极限时，被切金属层被切离工件形成切屑。简言之，被切削的金属层在刀具前面的挤压作用下，通过剪切滑移变形便形成了切屑。实际上，这种塑性变形—滑移—切离三个过程，会根据加工材料等条件不同，不完全地显示出来。例如，加工铸铁等脆性材料时，被切层在弹性变形后很快形成切屑离开母材。而加工塑性很好的钢材时，滑移阶段特别明显。

2. 切屑的类型

由于切屑形成过程不同，切屑的形状也不同。一般可以分成三类（见图 1-12），即带状切屑、挤裂切屑和崩碎切屑。

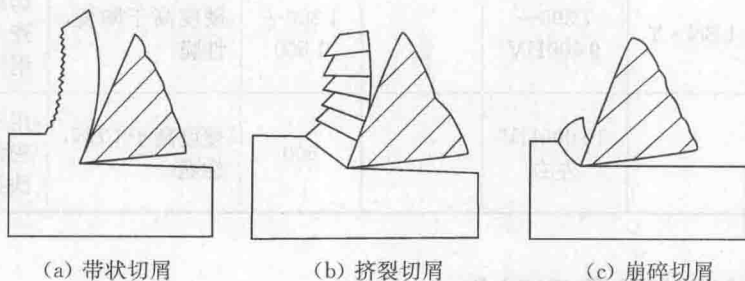


图 1-12 切屑的类型

1) 带状切屑

切屑从刀具前面连续流出而形成不间断的条带形状，它的内表面（与刀具前面接触的面）是光滑的，外表面是毛茸的，这种切屑称为带状切屑。通常在加工塑性金属材料时，切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大的情况下获得。形成带状切屑时，材料没有充分变形。因此切削中产生的力和热均较小，切削平稳，已加工表面粗糙度值低。

2) 挤裂切屑

在刀具推进的同时，被切金属层受挤压滑移，当剪应力局部超过了金属的强度极限时，发生了局部断裂，其裂纹不贯穿整个切屑厚度，这样形成的切屑称为挤裂切屑。挤裂切屑的外形和带状切屑不同之处在于外表面呈锯齿形，内表面有时有裂纹。在加工较硬的塑性金属材料且所用的切削速度较低、切削厚度较大、刀具前角较大的情况下产生。这是由于材料

在剪切滑移过程中滑移量较大,由滑移变形所产生的加工硬化使剪切应力增大,在局部地方达到了材料的断裂强度所引起的。因此切削力波动较大,已加工表面粗糙度值较大。

3) 崩碎切屑

被切金属层受刀具前面的挤压,当其应力超过强度极限时产生裂纹,在刀具连续作用下,裂纹扩展而贯穿整个切屑厚度,从而形成一小块一小块不连续状切屑,这种形状的切屑称为崩碎切屑。在加工铸铁、青铜等脆性材料时,易形成崩碎切屑。产生崩碎切屑时,切削热和切削力都集中在主切削刃和刀尖附近,刀尖易磨损,容易产生振动,影响表面质量。工件材料愈硬脆,刀具前角愈小,切削厚度愈大,愈易形成这类切屑。

上述情况说明切屑类型可反映切削过程。由于变形和摩擦的结果,在切削过程中会产生一系列的物理现象,如切削力、切削热、积屑瘤、工件表面变形强化、刀具磨损等。

3. 积屑瘤

切削钢、球墨铸铁、铝合金等塑性金属时,在切削速度不高,又能形成带状切屑的情况下,常常在刀具前面上粘结或冷焊有一层层金属体,形成硬度很高的小楔块,如图 1-13 所示,被称作积屑瘤。经测定它的硬度可达工件材料硬度的 2~2.5 倍,因而它也能切削工件材料。图中积屑瘤高出刀具前面,并突出后刀面,使得实际切削时,刀具的实际前角的伸出量为 Δa_c ,即切削深度增大了 Δa_c ,因而影响了工件的加工尺寸。避免产生积屑瘤的方法如下:

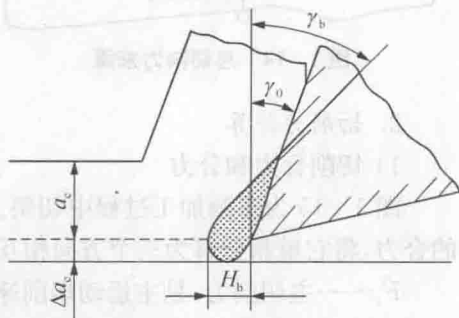


图 1-13 积屑瘤示意图

(1) 加工时控制切削速度,避开产生积屑瘤的切削速度。一般在切削速度很低 ($v_c < 0.083 \text{ m/s}$) 时,或切削速度很高 ($v_c > 1.17 \text{ m/s}$) 时不会产生积屑瘤。

(2) 增加刀具前角以减小切削变形、降低刀屑接触区压力。

(3) 使用润滑性良好的切削液,减小摩擦。

(4) 选用适当热处理的方法提高工件材料的硬度,减少加工硬化的倾向。

1.2.2 切削力和切削功率

切削力是金属切削过程中的主要物理现象之一,它的大小直接影响切削热、刀具的磨损和使用寿命,从而影响加工质量和生产率。此外,切削力又是计算切削功率,设计和选用机床、刀具和夹具的必要依据之一。因此,揭示切削力产生的原因,研究其出现的规律,估算其数量的大小,对合理选用刀具、保证加工质量和设计使用工艺装备都具有重要意义。

1. 切削力的来源

切削加工时刀具使切削层形成切屑需要克服的阻力称为切削力。

切削力来源于三个方面:

(1) 克服切屑形成过程中工件材料对弹性变形的抗力;

(2) 克服切屑形成过程中工件材料对塑性变形的抗力;

(3) 克服切屑与刀具前面的摩擦力 F_f 和刀具后面与已加工表面及过渡表面间的摩擦力 F_a 。

如图 1-14 所示,这三个方面的力分别作用于刀具的前面和后面上,它们的合力就构成了该切削部分的总切削力 F_r 。

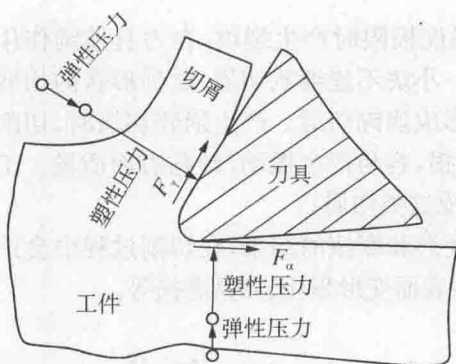


图 1-14 总切削力来源

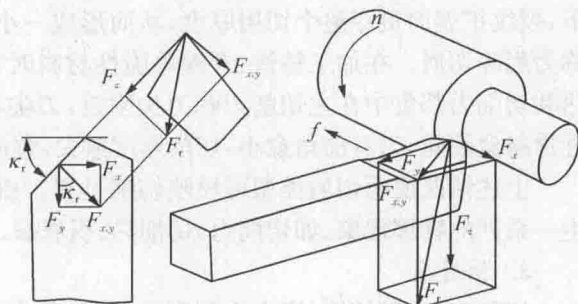


图 1-15 总切削力和分力

2. 切削力计算

1) 切削合力和分力

图 1-15 为车削加工过程中切削力分析示意图。从中可看出切削力 F_r 是一个多项力的合力,将它重新分解为三个方向相互垂直的分力,它们分别是:

F_z ——主切削力,是主运动切削速度方向的分力,又可称为切向力;

F_y ——切深抗力,是切削深度方向的分力,又可称为径向力;

F_x ——进给抗力,是进给方向上的分力,和工件轴线方向平行,又可称为轴向力。

由图 1-15 可知,合力 F_r 可先在主剖面内分解为 F_z 和 $F_{x,y}$,而 $F_{x,y}$ 再在基面内分解为 F_x 和 F_y ,因而

$$F_r = (F_z^2 + F_{x,y}^2)^{1/2} = (F_z^2 + F_x^2 + F_y^2)^{1/2} \quad (1-8)$$

又有

$$F_x = F_{x,y} \sin \kappa_r \quad (1-9)$$

$$F_y = F_{x,y} \cos \kappa_r \quad (1-10)$$

式中: $F_{x,y}$ ——合力 F_r 在基面上的分力;

κ_r ——主偏角。

主切削力 F_z 是最大的一个分力,它消耗了切削总功率的 95% 左右,它是设计与选用刀具的主要依据,并用于验算机床、夹具主要零部件的强度和刚性以及确定机床电动机功率。

切深抗力 F_y 不消耗功率,但在“机床—工件—夹具—刀具”工艺系统刚性不足时,是造成振动的主要因素。

进给抗力 F_x 只消耗了不足 5% 的总功率,它是验算机床进给系统主要零部件的强度和刚度的依据。

2) 切削力的经验公式

用测力仪测出切削力,然后用数学方法进行处理,可推出计算切削力的经验公式。在实际生产中应用比较广泛的计算切削力的经验公式如下:

$$F_c = K_{F_c} C_{F_c} a_{pF_c}^{x_{F_c}} f^{y_{F_c}} v_c^{n_{F_c}} \quad (1-11)$$

$$F_x = K_{F_x} C_{F_x} a_{pF_x}^{x_{F_x}} f^{y_{F_x}} v_c^{n_{F_x}} \quad (1-12)$$

$$F_y = K_{F_y} C_{F_y} a_{pF_y}^{x_{F_y}} f^{y_{F_y}} v_c^{n_{F_y}} \quad (1-13)$$

式中: F_c , F_x , F_y ——分别为主切削力、进给抗力、切深抗力;

K_{F_c} , K_{F_x} , K_{F_y} ——当实际加工条件与建立经验公式的试验条件不符时,各种影响因素对切削分力的修正系数的乘积;

C_{F_c} , C_{F_x} , C_{F_y} ——取决于被加工材料和切削条件的切削系数;

a_p , f , v_c 上的指数——分别为三个分力对应的切削深度、进给量、切削速度的指数。

以上公式中的系数值,可查阅有关机械加工工艺手册。

3. 切削功率

消耗在切削过程中的功率称为切削功率 P_m 。功率是同一瞬间、同一点的力矢量与速度矢量的矢量乘积。由于切深抗力 F_y 方向没有位移,进给运动消耗功率又是很小,所以通常只计算主运动消耗的功率。

$$P_m = F_z v \times 10^{-3} (\text{kW}) \quad (1-14)$$

式中: F_z ——主切削力(N);

v ——主运动切削速度(m/s)。

若要计算机床电机功率 P_E ,还应将 P_m 除以机床的传动效率 η ,即

$$P_E = P_m / \eta \quad (1-15)$$

式中: η ——机床传动效率,一般取 0.75~0.85。

上式是用于选取与检验机床电动机的主要依据。

4. 影响切削力的因素

切削力来源于工件材料的弹塑性变形及刀具与切屑、工件表面的摩擦,因此,凡是影响切削过程中材料的变形及摩擦的因素都影响切削力。影响因素主要为:工件材料、切削用量、刀具几何参数和其他因素。

1) 工件材料

工件材料是通过材料的剪切屈服强度、塑性变形、切屑与刀具间的摩擦系数等条件影响切削力的。

对于塑性材料,硬度、强度越高,材料的剪切屈服强度越高,则切削力越大。材料的塑性或韧性越高,切屑不易折断,使切屑与刀具前面间摩擦增加,故切削力越大。对于脆性材料,如铸铁、黄铜等,由于塑性变形小,崩碎切屑与刀具前面的摩擦小,故切削力小。例如灰铸铁 HT200 与热轧 45 钢,两者硬度接近,但前者切削力比后者小 40%。

2) 切削用量

(1) 切削深度。

切削深度增加一倍,切削宽度和切削面积也增加一倍,使变形抗力和摩擦力也成倍增加,故主切削力也成倍增大。

(2) 进给量。