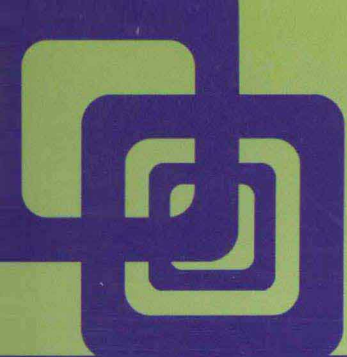




数控技术快速入门与提高

数控机床加工工艺 入门与提高

唐文献 主 编
方喜峰 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控技术快速入门与提高

数控机床加工工艺 入门与提高

主 编 唐文献
副主编 方喜峰
参 编 苏世杰 齐继阳
高 超



机械工业出版社

全书共分7章,分别讲述了数控加工的切削基础知识、数控加工工艺基础、数控加工的测量与检验基础、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心的加工工艺、数控电火花线切割加工工艺。通过对本书的学习,可使读者解决数控加工中的工艺问题,实现从入门到提高。

本书可供普通高等学校和高等职业院校数控技术教育和培训机构的学生及从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工工艺入门与提高/唐文献主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 2

(数控技术快速入门与提高)

ISBN 978-7-111-41219-9

I. ①数… II. ①唐… III. ①数控机床-加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 011921 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 周国萍 责任编辑: 周国萍 李 超

版式设计: 张 薇 责任校对: 申春香

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 张 楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 388 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41219-9

定价: 39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

丛书序言

数控机床在现代制造业中正发挥着举足轻重的作用，它的出现和广泛应用，使机械制造、航空航天、汽车、船舶以及其他高新技术领域的生产方式、产品结构和产业结构发生了深刻的变化，并带来了巨大的经济效益，数控机床的拥有量和应用能力的高低已逐渐成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。数控机床加工技术涵盖了机械技术、电子技术、计算机技术、液压气动技术等诸多领域，具有较强的实践性。在我国，数控设备的使用量正在迅速增长，各高校和高等职业院校数控专业课程的设立也越来越多，为适应培养数控人才及发展职业技术教育的需要，我们编写了这套丛书。

本丛书以工程应用为目的，以数控技术的入门与提高为切入点，注重技术的针对性和实用性，强化实践技能，旨在提高相关专业学习者的竞争能力和对多变市场的适应能力。丛书的主题为“数控技术快速入门与提高”，分为四册。第一分册：《数控机床编程入门》；第二分册：《数控机床加工工艺入门与提高》；第三分册：《数控机床编程与加工实例》；第四分册：《数控机床操作、维修入门与提高》。丛书以企业中使用较广泛的 FANUC 和 SIEMENS 系统为主线，将目前数控加工领域三种运用较广的加工形式（数控车、数控铣、数控电火花线切割）作为平台，围绕数控机床的加工工艺、编程、操作和维修等核心内容，遵循学习者的认知规律，全面系统地介绍了数控技术的基础知识、数控加工工艺分析与编程方法、数控机床的典型加工实例以及操作与维修数控机床的方法。

本丛书可作为高等工科院校机械制造、机电一体化、自动控制及其他相关专业学生进行数控技术实习的参考书，或高等职业院校数控技术专业以及相关培训机构的培训教材，同时可作为从事数控加工的工程技术人员的参考资料。

前 言

随着科学技术的飞速发展，社会对产品多样化的要求日益强烈，产品更新越来越快，多品种、中小批量生产的比重明显增加；同时，随着航空工业、汽车工业和轻工业的高速发展，复杂形状的零件越来越多，精度要求也越来越高，传统的加工设备和加工方法已经难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状的高效、高质量的加工要求。因此，数控加工技术得到了飞速的发展，数控机床是集高效率、高精度及高柔性于一体，是先进制造技术领域中的关键基础装备，也是典型的机电一体化产品。数控加工可以有效地解决机械产品中复杂、精密、小批多品种的零件加工问题，大幅度缩短产品的生产制造周期。

数控技术是发展新兴高新技术产业和尖端工业的基础。数控技术是当今先进制造技术和装备最核心的技术，发达国家还将数控技术及数控装备列入国家的战略规划，大力发展自己的数控技术及其产业。数控技术的水平和现代化程度决定着整个国民经济的水平和现代化程度，对增强我国的综合国力有着极其重要的作用。而数控加工工艺是以数控机床加工中的工艺问题为研究对象的一门加工技术，以机械制造中的工艺基本理论为基础，结合数控机床的特点，综合运用多方面的知识解决数控加工中的工艺问题。

数控机床加工工艺是数控技术应用专业和机电专业的主要专业课之一。通过对本书的学习，应基本掌握数控加工的金属切削及加工工艺的基本知识和基本理论；学会选择机床、刀具、夹具及零件表面的加工方法；掌握数控加工工艺设计方法；通过有关教学环节的配合，初步具有制订中等复杂程度的零件数控机床加工工艺和分析解决实际生产中的一般工艺问题的能力。

本书从数控加工的切削基础开始，介绍了数控加工工艺基础、数控加工的测量与检验基础、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心的加工工艺、数控电火花线切割加工工艺相关知识，重点介绍了零件在数控车床、数控铣床和加工中心机床上加工时工艺文件的制订，并给出了应用实例，讨论了相关的工艺技术问题。

本书可供普通高等学校和高等职业院校数控技术教育和培训机构的学生及从事数控加工的工程技术人员参考。

全书由唐文献担任主编，方喜峰担任副主编。参加编写的人员有苏世杰、齐继阳、高超。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

丛书序言

前言

第1章 数控加工的切削基础知识..... 1

1.1 金属切削过程的基本规律及应用 1

1.1.1 切削运动与切削用量 1

1.1.2 切削层参数 3

1.1.3 切削过程的金属变形 3

1.1.4 切屑的类型及控制 6

1.1.5 切削力与切削热 8

1.2 切削刀具的基本知识 10

1.2.1 刀具的几何参数 10

1.2.2 刀具磨损与刀具寿命 13

1.2.3 切削液 16

1.3 数控刀具的种类及特点 17

1.3.1 数控刀具概述 17

1.3.2 数控车刀的种类及特点 19

1.3.3 数控铣刀的种类及特点 20

1.3.4 可转位车刀刀片型号编制规则及说明 23

1.3.5 加工中心(铣床)用刀柄 24

1.4 数控刀具的材料及选择 31

1.4.1 高速钢 32

1.4.2 硬质合金 33

1.4.3 陶瓷 35

1.4.4 立方氮化硼 35

1.4.5 人造金刚石 36

1.4.6 数控刀具的选择方法 36

第2章 数控加工工艺基础 41

2.1 数控加工工艺分析 41

2.1.1 零件图分析 41

2.1.2 零件的结构工艺性分析 42

2.1.3 数控加工内容的选择 43

2.1.4 数控机床的合理选用 44

2.2 工件的安装及定位基准 44

2.2.1 工件的装夹方式 44

2.2.2 工件的定位原理 45

2.2.3 定位基准 49

2.3 数控机床夹具 52

2.3.1 数控夹具的作用与要求 52

2.3.2 典型机床夹具 55

2.3.3 数控加工中的组合夹具 61

2.4 数控加工工艺路线确定 71

2.4.1 定位基准的选择 72

2.4.2 加工方法的选择 72

2.4.3 加工阶段的划分 75

2.4.4 工序顺序的安排 76

2.5 数控加工工序设计 79

2.5.1 走刀路线和工步顺序的确定 79

2.5.2 工件的安装与夹具的选择 80

2.5.3 刀具的选择 80

2.5.4 加工余量的确定 81

2.5.5 切削用量的确定 81

第3章 数控加工的测量与检验

基础 84

3.1 零件的加工精度和表面质量 84

3.1.1 机械加工精度 84

3.1.2 表面质量 88

3.1.3 机械加工中的振动 90

3.2 数控加工常用位置检测方法 90

3.2.1 位置检测系统的概述 90

3.2.2 旋转变压器 92

3.2.3 感应同步检测单元 94

3.2.4 光栅检测单元 97

3.2.5 磁栅检测单元 100

3.2.6 脉冲编码器结构 103

第4章 数控车削加工工艺 109

4.1 数控车削加工的特点和主要对象 109

4.1.1 数控车床简介 109

4.1.2 数控车削加工的工艺特点	115	工艺	176
4.1.3 数控车削加工的主要对象	116	5.4.2 典型零件的数控铣削加工工艺	
4.2 数控车削加工工艺分析	116	实例	187
4.2.1 零件轮廓的几何要素分析及		第6章 加工中心的加工工艺	191
结构工艺性分析	116	6.1 加工中心简介	191
4.2.2 零件数控车削加工方案的		6.2 加工中心的加工工艺与工装	195
拟订	118	6.3 加工中心的程序编制	214
4.2.3 夹具、刀具的选择及切削		6.4 加工中心加工实例	220
用量的确定	119	第7章 数控电火花线切割加工	
4.3 数控车削的程序编制	122	工艺	224
4.3.1 数控车床的编程特点	122	7.1 数控电火花线切割加工概述	224
4.3.2 车削数控系统功能	122	7.1.1 数控电火花线切割加工原理	224
4.3.3 数控车削编程基础	124	7.1.2 数控电火花线切割加工的	
4.4 综合零件的工艺分析实例	136	特点及应用	225
4.4.1 轴类零件数控车削加工工艺	136	7.2 影响线切割工艺指标的主要因素	226
4.4.2 轴套类零件数控车削加工		7.3 数控线切割加工工艺的拟订	228
工艺	141	7.3.1 零件图的工艺分析	229
4.4.3 螺纹车削加工实例	152	7.3.2 工艺准备	230
第5章 数控铣削加工工艺	155	7.3.3 工件的装夹和位置的校正	234
5.1 数控铣削加工的特点和主要对象	155	7.3.4 电极丝的位置校正	235
5.1.1 数控铣床简介	155	7.3.5 切割路线的选择	236
5.1.2 数控铣削的主要加工对象	158	7.3.6 穿丝孔位置的确定	237
5.1.3 数控铣削加工的特点	160	7.3.7 接合突尖的去除方法	237
5.2 数控铣削加工工艺分析	162	7.4 电火花线切割加工工艺分析实例	239
5.3 数控铣削的程序编制	168	7.4.1 冷冲模加工	239
5.4 综合零件的工艺分析实例	176	7.4.2 零件加工	241
5.4.1 典型结构的数控铣削加工		参考文献	243

第 1 章 数控加工的切削基础知识

1.1 金属切削过程的基本规律及应用

金属切削过程是工件和刀具相互作用，刀具从工件表面切除材料而得到所需工件表面的过程。这个过程包含了切削变形、切削力、切削热和刀具磨损等一系列现象，数控加工的目标是在保证技术要求的形状、尺寸精度和表面质量的前提下，实现生产的高效率和低成本。

1.1.1 切削运动与切削用量

切削运动就是工件与刀具之间的相对运动。各种切削加工方法的相对运动都是由主运动和进给运动组合而成的，这些分运动往往是一些简单的直线运动和旋转运动。

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运动，称为主运动。一般情况下主运动的速度较高，消耗的功率较大。主运动可以由工件完成，也可以由刀具完成；可以是旋转运动，也可以是直线运动。在图 1-1 所示的外圆车削过程中，工件的回转运动即是主运动。主运动的速度称为切削速度，用 v_c 表示。

2. 进给运动

进给运动就是不断地把被切削层投入切削过程，以便形成全部已加工表面的运动。一般进给运动的速度较低，消耗的功率较少，可由一个或多个运动组成。它可以是连续的，也可以是间断的。车削外圆时的进给运动是车刀沿平行于工件轴线方向的连续直线运动。进给运动的速度称为进给速度，用 v_f 表示，单位为 mm/s 。进给速度还可以每转或每行程进给量 f (mm/r 或 mm/st)、每齿进给量 f_z (mm/z) 表示。此外，在进给运动开始前由机床的吃刀机构提供的一种间歇进给运动称为吃刀运动。其进给量大小称为切削深度（背吃刀量） a_p 。对于外圆车削，切削深度 a_p 为工件上已加工表面和待加工表面之间的垂直距离。即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-1)$$

式中 d_w ——工件待加工表面的直径，单位为 mm ；

d_m ——工件已加工表面的直径，单位为 mm 。

在切削过程中，工件上通常存在三个表面（图 1-1）。待加工表面，即工件上即将被切

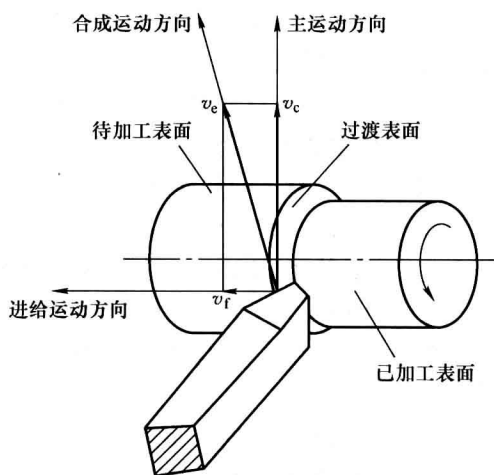


图 1-1 外圆车削的切削运动与工件表面

除金属层的表面；已加工表面，工件上经刀具切削后形成的表面；过渡表面，工件上被切削刀正在切削的表面，也称切削表面，它总是处在待加工表面与已加工表面之间。

3. 切削用量

切削用量是指切削速度、进给量（或进给速度）和切削深度（背吃刀量）三者的总称，又称为切削三要素。合理的切削用量是指充分利用刀具的切削性能和机床性能，在保证加工质量的前提下，获得高的生产率和低的加工成本的切削用量。

不同的加工性质，对切削加工的要求是不一样的。因此，在选择切削用量时，考虑的侧重点也有所区别。粗加工时，应尽量保证较高的金属切除率和必要的刀具寿命，故一般优先选择尽可能大的切削深度 a_p ，其次选择较大的进给量 f ，最后根据要求，确定合适的切削速度 v_c 。精加工时，首先应保证工件的加工精度和表面质量要求，故一般选用较小的进给量 f 和切削深度 a_p ，而尽可能选用较高的切削速度 v_c 。

（1）切削深度 a_p 的选择 切削深度应根据工件的加工余量来确定。

粗加工时，除留下精加工余量外，一次走刀应尽可能切除全部余量。当加工余量过大，工艺系统刚度较低，机床功率不足，刀具强度不够，或断续切削的冲击振动较大时，可分多次走刀。切削表面层有硬皮的铸锻件时，应尽量使 a_p 大于硬皮层的厚度，以保护刀尖。

半精加工和精加工的加工余量一般较小，可一次切除。但有时为了保证工件的加工精度和表面质量，也可采用二次走刀。

多次走刀时，应尽量将第一次走刀的切削深度取大些，一般为总加工余量的 $2/3 \sim 3/4$ 。

在中等功率的机床上，粗加工的切削深度可达 $8 \sim 10\text{mm}$ ；半精加工（表面粗糙度值为 $Ra3.2 \sim 6.3\mu\text{m}$ ）时，切削深度取为 $0.5 \sim 2\text{mm}$ ；精加工（表面粗糙度值为 $Ra0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ ）时，切削深度取为 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ 。

（2）进给量 f 的选择 切削深度选定以后，接着就应尽可能选用较大的进给量进行粗加工，由于作用在工艺系统上的切削力较大，进给量的选取受到下列因素的限制：机床—刀具—工件系统的刚度、机床进给机构的强度、机床有效功率与转矩，以及断续切削时刀具的强度。

半精加工和精加工时，最大进给量主要受工件加工表面粗糙度的限制。

在工厂的实际生产中，进给量一般多根据经验按一定的表格选取，在有条件的情况下，可通过对切削数据库进行检索和优化选取合适的进给量。

（3）切削速度 v_c 的选择 在 a_p 和 f 选定后，可在保证刀具合理寿命的条件下，用计算的方法或用查表的方法确定切削速度 v_c 的值。在具体确定 v_c 值时，一般遵循如下原则。

1) 粗加工时，切削深度和进给量均较大，故选择较低的切削速度；精加工时，则选择较高的切削速度。

2) 工件材料的加工性较差时，应选较低的切削速度。加工灰铸铁的切削速度应较加工中碳钢低，加工铝合金和铜合金的切削速度则较加工钢高得多。

3) 刀具材料的切削性能越好时，切削速度也可选得越高。因此，硬质合金刀具的切削速度可选得比高速钢高好几倍，而涂层硬质合金、陶瓷、金刚石和立方氮化硼刀具的切削速度又可选得比硬质合金刀具高许多。

此外，在确定精加工、半精加工的切削速度时，应注意避开积屑瘤和鳞刺产生的区域；

在易发生振动的情况下,切削速度应避开自激振动的临界速度;在加工带硬皮的铸锻件,或加工大件、细长件和薄壁件,以及断切削时,应选用较低的切削速度。

1.1.2 切削层参数

切削层是切削刃在一个单位进给量中所切除的工件材料层。外圆车削时的切削层,就是工件转一转,主切削刃移动一个进给量所切除的一层金属层,如图 1-2 所示。切削层的尺寸和形状通常用通过切削刃的选定点并垂直于该点切削速度 v_c 的平面内的切削层参数来表示。

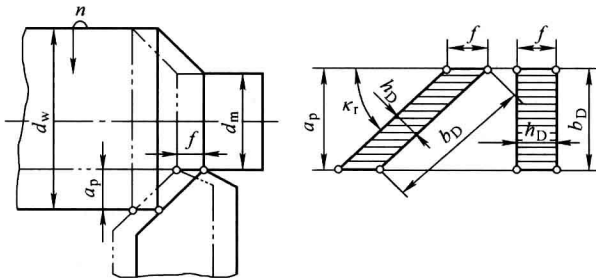


图 1-2 切削层参数

1. 切削层公称厚度 h_D

切削层公称厚度简称切削厚度,是垂直于过渡表面测量的切削层尺寸,即相邻两过渡表面之间的距离。它反映了切削刃单位长度上的切削负荷。车外圆时,若车刀主切削刃为直线,则

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-2)$$

式中 κ_r ——车刀主偏角。

2. 切削层公称宽度 b_D

切削层公称宽度是沿过渡表面测量的切削层尺寸。它反映了切削刃参加切削的工作长度。当车刀主切削刃为直线时,外圆车削的切削层公称宽度为

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-3)$$

3. 切削层公称横截面积 A_D

切削层公称横截面积简称切削面积,是切削层在切削层尺寸平面内的实际横截面积。由定义可知

$$A_D = h_D b_D \quad (1-4)$$

1.1.3 切削过程的金属变形

1. 切屑的形成过程

切屑的形成过程是切削层在受到刀具前面的挤压后而产生的以滑移为主的塑性变形过程。图 1-3 所示是在直角自由切削工作条件下金属切削滑移线和流线示意图。流线的分布表明了切削过程中金属流动的轨迹。图中的罗马数字 I、II、III 分别代表三个变形区。

2. 变形区的划分

当刀具前面推挤切削层时,在切削层内产生应力场,离切削刃越近,应力

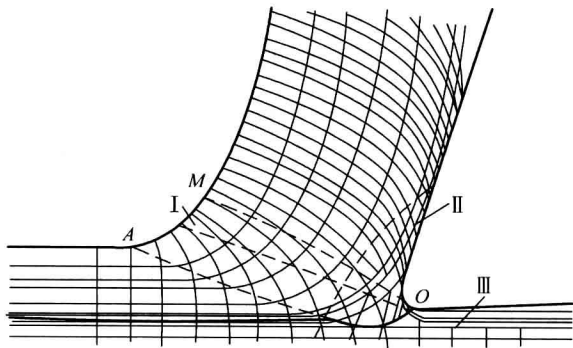


图 1-3 滑移的流线示意图

越大。在应力场中可以找到切应力 τ 达到材料屈服强度 R_e 的各点，连接这些点，可以得到曲线 OA ，如图 1-4 所示。由于此处 $\tau = R_e$ ，所以被切材料在 OA 线开始剪切滑移， OA 称为始滑移线。当被切削金属层中某点 P 向切削刃逼近，达到点 1 的位置时，其切应力达到材料的屈服强度 R_e ，点 1 在向前移动的同时，也沿 OA 滑移，复合的运动将使点 1 流动到点 2。2'-2 就是它的滑移量。由于塑性变形过程中发生强化现象，要继续滑移必须不断提高应力 τ ，而 P 点继续向前运动时，由于切削刃的挤压，它所受到的切应力是不断增加的，故滑移将不断发生，滑移量不断增加。当到达点 M 后，被切材料的流动方向与前面平行，不再滑移，故 OM 称为终滑线。由此可见，切削层的材料经过一个从 OA 到 OM 的剪切变形区而变成切屑。该剪切区通常又称第 I 变形区。剪切区内的剪切线与切削速度方向的夹角为剪切角，约为 45° 。在一般切削速度范围内，这一变形区的宽度仅为 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$ ，因此，可以视为一个剪切平面，称为剪切面。

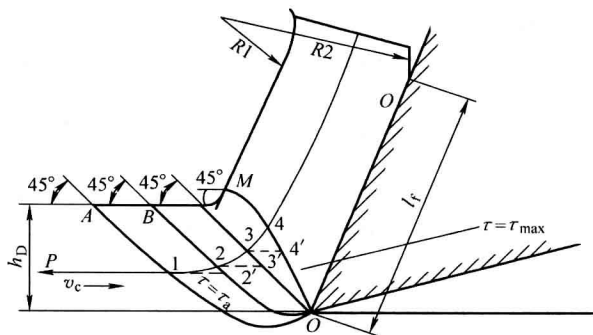


图 1-4 第一变形区金属的剪切滑移

当切削层的金属经剪切滑移后变成切屑沿前面流出时，又受到前面的挤压而产生剧烈摩擦，使切屑进一步变形，使切屑靠近前面的底层金属薄层纤维化，产生一层滞留层，这就形成了第 II 变形区。积屑瘤、刀具磨损等现象主要取决于第 II 变形区的变形。

切削过程中，工件已加工表面由于受到切削刃钝圆部分及后面的挤压及摩擦，也会产生很大的变形，这就是第 III 变形区。由于强烈变形，将使工件表面形成加工硬化层，产生表层残余应力，甚至会伴随出现微观裂纹而严重影响工件表面加工质量和工件使用性能。

图 1-4 表示了切削时三个变形区的大致位置。由于切削时大部分塑性变形集中在第 I 变形区，所以切削变形的大小主要按第 I 变形区衡量。

3. 前面的受力与摩擦

经测定，切削钢材时，刀具前面对被切材料产生的正应力 σ 和切应力 τ 沿前面的分布如图 1-5 所示。在切屑与刀具前面接触的 OB 长度内存在两种不同的解除状态。在靠近切削刃的 OA 区，由于正应力值大，切屑在前面形成粘结接触，在此区域内，各点的切应力 τ 基本相同，它等于被切材料的剪切屈服强度 R_e ；在 AB 区，由于正应力小，切屑在前面上形成滑动接触，切屑相对于前面的摩擦特性服从古典摩擦法则，各点的摩擦因数 μ 相同。切应力 $\tau = \mu\sigma$ 。

由于在一般的切削条件下，来自粘结接触区的摩擦力占前面上总摩擦力的 85%，故在研究前面的摩擦时，应以粘结接触区的摩擦为主要依据。

粘结接触区上各点的摩擦因数

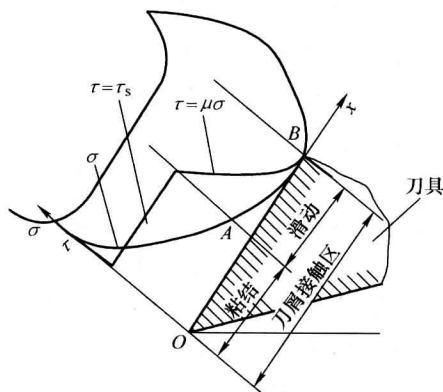


图 1-5 刀具界面上正应力和切应力的分布

$$\mu_1 = \frac{R_e}{\sigma(x)} \quad (1-5)$$

式中 $\sigma(x)$ ——距切削刃 x 点处的正应力。

由于 $\sigma(x)$ 随 x 变化, 故在粘结接触区切屑与前面的摩擦系数是一个变值, 离切削刃越远, 摩擦因数越大, 其平均摩擦因数

$$\mu_{1\text{平均}} = \frac{F_{\text{fl}}}{F_{\text{nl}}} = \frac{R_e b_D \overline{OA}}{b_D \int_0^A \sigma(x) d(x)} = \frac{R_e \overline{OA}}{\int_0^A \sigma(x) d(x)} = \frac{R_e}{\sigma_{\text{av}}} \quad (1-6)$$

式中 F_{fl} , F_{nl} ——分别为粘结接触区的摩擦力和正应力;

b_D ——切削层公称宽度;

σ_{av} ——粘结接触区平均正应力。

4. 积屑瘤

在中等或较低的切削速度下切削塑性金属时, 常常会发现一小块很硬的金属粘附在靠近切削刃口的前面上, 并代替前面切削刃进行切削, 这就是积屑瘤 (图 1-6)。

(1) 积屑瘤产生的原因 切削时, 由于前面与切屑间的压力很大, 切削温度也很高, 在切屑底层形成了滞流层。在一定的压力和温度下, 底层的滞流层就会与切屑分离并粘结在前面上, 形成第一层积屑瘤。由于切屑在不断地连续流出, 新的滞流层又粘结在冷焊层上。如此依次层层堆积, 积屑瘤就不断增大。积屑瘤增大到一定高度后, 切屑与前面的接触条件和受力情况发生变化, 就会停止增大。当切削过程中出现冲击、振动或切削力发生变化时, 积屑瘤就会局部破碎或者整体脱落。

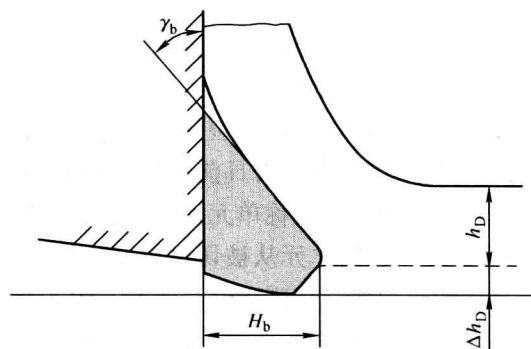


图 1-6 积屑瘤

(2) 积屑瘤对切削过程的影响 积屑瘤的硬度很高 (一般为被加工材料的 2~3 倍), 当它覆盖在切削刃上时, 可代替切削刃进行切削, 对切削刃有一定的保护作用; 积屑瘤使刀具的实际前角增大, 可使切削力减小; 积屑瘤的前端伸出在切削刃之外, 使切削层公称厚度增大 (增大值为 Δh_D), 由于积屑瘤的产生、增大和脱落是有一定周期性的, 因此 Δh_D 是变化的, 可能引起振动; 积屑瘤破碎时, 除一部分脱落的碎片被切屑带走外, 一部分会流入刀具与工件的接触区, 对工件表面形成“犁沟”, 使加工表面变得粗糙。碎片还可能嵌入工件表面造成硬质点, 加速刀具磨损。总的来说, 积屑瘤是弊大于利, 一般情况下尤其是精加工时是不希望出现积屑瘤的。

(3) 抑制或避免积屑瘤产生的措施 加工时控制切削速度, 避开产生积屑瘤的中等速度这一速度范围; 工件材料的塑性越好, 切削时的塑性变形越大, 则越容易产生积屑瘤。可将材料进行正火或调质处理, 以提高硬度, 降低塑性; 增大刀具前角、减小进给量、提高刀具表面刃磨质量、选用润滑性能好的切削液等, 也可以减小或抑制积屑瘤的产生与增大。

1.1.4 切屑的类型及控制

1. 切屑的类型

由于工件的材料不同,切削条件各异,切削过程中生成的切屑形状是多种多样的。切屑的形状主要分为带状、节状、粒状和崩碎四种类型,如图1-7所示。

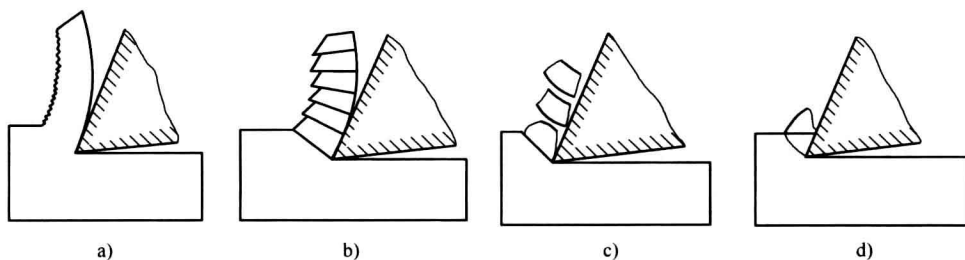


图1-7 切屑类型

a) 带状切屑 b) 节状切屑 c) 粒状切屑 d) 崩碎切屑

1) 带状切屑。这是最常见的一种切屑。它的内表面是光滑的,外表面呈毛茸状。加工塑性金属时,在切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大的工况下常形成此类切屑。

2) 节状切屑。又称挤裂切屑。它的外表面呈锯齿形,内表面有时有裂纹。在切削速度较低、切削厚度较大、刀具前角较小时常产生此类切屑。

3) 粒状切屑。又称单元切屑。在切屑形成过程中,如剪切面上的剪切应力超过了材料的断裂强度,切屑单元从被切材料上脱落,形成粒状切屑。

4) 崩碎切屑。切削脆性金属时,由于材料塑性很小、抗拉强度较低,刀具切入后,切削层金属在刀具前面的作用下,未经明显的塑性变形就在拉应力作用下脆断,形成形状不规则的崩碎切屑。加工脆性材料时,切削厚度越大越易得到这类切屑。

前三种切屑是加工塑性金属时常见的切屑类型。形成带状切屑时,切削过程最平稳,切削力波动小,已加工表面的表面粗糙度值较小;形成粒状切屑时切削过程中的切削力波动最大。前三种切屑类型可以随切削条件变化而相互转化,例如,在形成节状切屑工况下,如进一步减小前角、降低切削速度或加大切削厚度,就有可能得到粒状切屑;反之,如提高切削速度或减小切削厚度,就可得到带状切屑。

2. 切屑的控制

在生产实践中,我们会看到不同的排屑情况。有的切屑打成螺卷状,到一定长度时自行折断;有的切屑折断成C形、6形;有的碎成针状或小片,四处飞溅,影响安全;有的带状切屑缠绕在刀具和工件上,易造成事故。不良的排屑状态会影响生产的正常进行,因此切屑的控制具有重要意义,这在自动化生产线上加工时尤为重要。

切屑经第Ⅰ、Ⅱ变形区的剧烈变形后,硬度增加,塑性下降,性能变脆。在切屑排出的过程中,当碰到刀具后面、工件上过渡表面或待加工表面等障碍时,如某一部位的应变超过了切屑材料的断裂应变值,切屑就会折断。图1-8所示为切屑碰到工件或刀具后面而折断的情况。

研究表明,工件材料脆性越大(断裂应变值越小)、切屑厚度越大、切屑卷曲半径越

小,切屑就越容易折断。可采取以下措施对切屑进行控制。

1) 采用断屑槽。通过设置断屑槽对流动中的切屑施加一定的约束力,使切屑应变增大,切屑卷曲半径减小。断屑槽的尺寸参数应与切削用量的大小相适应,否则会影响断屑效果。常用的断屑槽截面形状有折线形、直线圆弧形和全圆弧形,如图 1-9 所示。前角较大时,采用全圆弧形断屑槽刀具的强度较好。断屑槽位于前面上的形式有平行、外斜、内斜三种,如图 1-10 所示。外斜式常形成 C 形屑和 6 形屑,能在较宽的切削用量范围内实现断屑;内斜式常形成长紧螺卷形屑,但断屑范围窄;平行式的断屑范围居于上述两者之间。

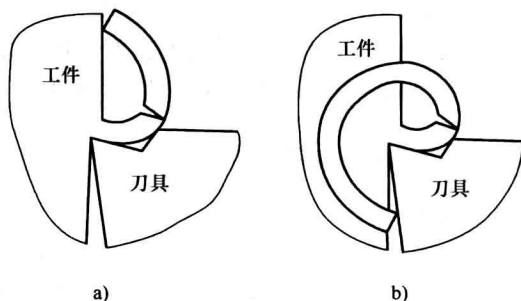


图 1-8 切屑碰到工件或刀具后面折断

a) 切屑碰工件折断 b) 切屑碰刀具后面折断

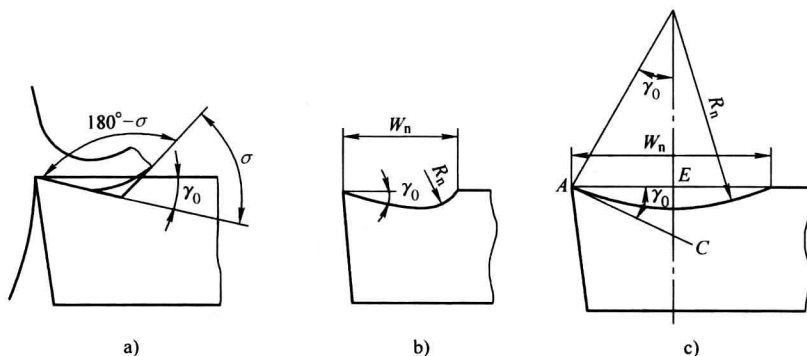


图 1-9 断屑槽截面形状

a) 折线形 b) 直线圆弧形 c) 全圆弧形

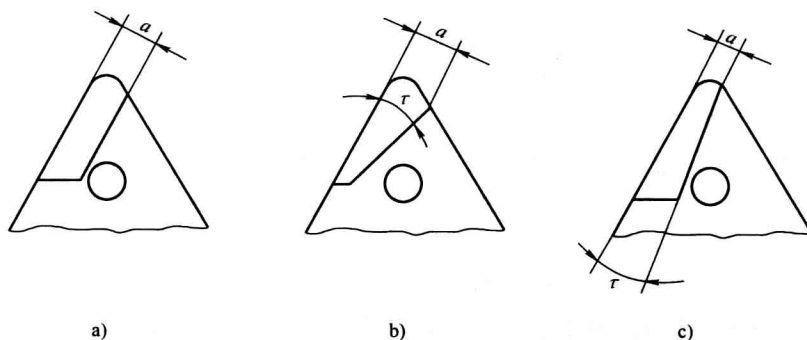


图 1-10 前面的断屑槽形状

a) 平行式 b) 外斜式 c) 内斜式

2) 改变刀具角度。增大刀具主偏角 κ_r 与切削厚度,有利于断屑。减小刀具前角,切屑易于折断。刃倾角 λ_s 可以控制切屑的流向, λ_s 为正值时,切屑常卷曲后碰到后面折断形成 C 形屑或自然流出形成螺卷屑; λ_s 为负值时,切屑常卷曲后碰到已加工表面折断成 C 形屑或 6

形屑。

3) 调整切削用量。提高进给量 f 使切削厚度增大, 对断屑有利; 但增大 f 会增大加工表面粗糙度值。适当地降低切削速度使切削变形增大, 也有利于断屑, 但这会降低材料切除效率。须根据实际条件适当选择切削用量。

1.1.5 切削力与切削热

1. 切削力

切削加工时, 在刀具的作用下, 切削层金属、切屑和工件已加工表面都要产生弹性变形和塑性变形, 这些变形所产生的抗力分别作用在前面和后面上; 同时, 由于切屑沿前面流出, 刀具与工件之间有相对运动, 所以还有摩擦力作用在前面和后刀面上。这些作用在刀具上的合力就是总切削力 F , 简称切削力。

由于 F 受很多因素的影响, 因此, 其大小和方向都是不固定的。为了便于分析力的作用和测量切削力的大小, 常常将总切削力 F 分解为图 1-11 所示的三个互相垂直的切削分力。

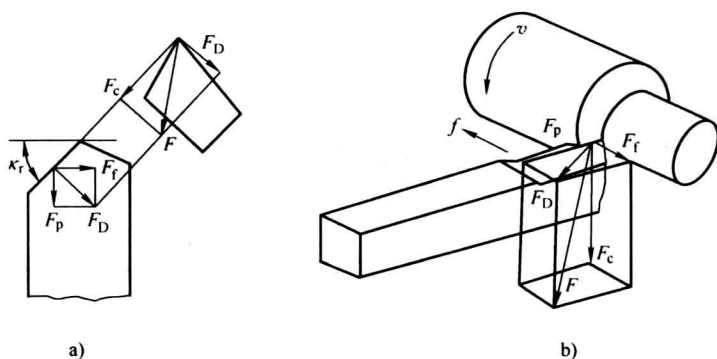


图 1-11 切削力的分解

(1) 主切削力 F_c 。是总切削力在主运动方向上的分力。主切削力是切削力中最大的一个分力, 其所消耗的功率占总功率的 95% ~ 99%。它是计算机床动力, 校核刀具、夹具的强度与刚度的主要依据。

(2) 背向力 F_p 。是总切削力在切削深度方向上的分力。与进给运动方向垂直。此力作用在机床—夹具—工件—刀具刚度最弱的方向上, 容易引起振动与加工误差, 它是设计和校验系统刚度和精度的基本参数。

(3) 进给力 F_f 。是总切削力在进给运动方向上的分力。与进给运动方向一致。 F_f 作用在机床的进给机构上, 是核算和校验机床进给系统的动力、强度及刚度的主要依据。

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (1-7)$$

目前, 生产中计算切削分力的经验公式可分两类, 一类是指数公式, 另一类是按单位切削力进行计算, 详细情况可参阅有关工艺手册。

影响切削力的主要因素有以下几点。

1) 工件材料。强度和硬度越高, 变形抗力越大, 切削力就越大。当材料强度相同时, 塑性和韧性大的材料, 加工时切削力就大。钢的强度与塑性变形大于铸铁, 因此, 同样情况

下切削钢时产生的切削力要大于切削铸铁时的切削力。

2) 切削用量。进给量 f 、背吃刀量 a_p 的增大,都会使切削面积 A_D 增大,变形与摩擦增大,切削力增大,但两者的影响程度不同。 a_p 增大1倍, F 也增大1倍,而 f 增大1倍, F_c 增大约70%。这是由于 a_p 增大时单位切削力基本不变, f 增大时单位切削力减小。 F 增大时 h_D 增大,切屑底层的剧烈变形层占整个切削层的比例减小,使平均变形程度下降, F_c 随着进给量 f 的增大而减小。

切削速度对切削力的影响因材料不同而异。加工塑性金属时,当 $v_c < 40\text{m/min}$ 时,由于积屑瘤的产生与消失,刀具实际前角增大或减小,从而引起切屑变形的变化,导致切削力的变化。当 $v_c > 40\text{m/min}$ 时,随着速度的增加,温度升高,摩擦因数减小,使切削力降低。加工脆性材料时,形成崩碎切屑,切屑与前面的摩擦很小, v_c 对切削力的影响不大。

3) 刀具几何参数。前角 γ_0 对切削力的影响较大。当 γ_0 增大时,切屑从前面流出较容易,切屑变形减小,切削力减小。主偏角 κ_r 和刃倾角 λ_s 对背向力 F_p 和进给力 F_f 的影响较大。当 κ_r 或 λ_s 增大时,背向力 F_p 减小,进给力 F_f 增大。

2. 切削功率

消耗在切削过程中的功率称为切削功率 P_m 。切削功率为切削力 F_c 和进给力 F_f 所消耗功率之和。因背向力 F_p 没有位移,故不消耗功率。即

$$P_m = 10^{-3} \left(F_c v_c + \frac{F_f v_f}{1000} \right) \quad (1-8)$$

式中 F_c ——切削力,单位为N;

v_c ——切削速度,单位为m/s;

F_f ——进给力,单位为N;

v_f ——进给速度,单位为mm/s。

一般情况下, F_f 所消耗的功率(约占 P_m 的1%~2%)远小于 F_c 所消耗的功率,因此,上式可简化为

$$P_m = 10^{-3} F_c v_c \quad (1-9)$$

机床电动机功率

$$P_E \geq P_m / \eta_m$$

式中 η_m ——机床传动效率,一般取0.75~0.85。

3. 切削热

切削过程中所消耗的能量绝大部分都转变成了热量(称作切削热),只有1%~2%的功以形成新表面和改变晶格等形式作为应变能被贮存在工件材料中。

切削热主要来自下述三个方面:

- 1) 单位时间内被加工材料的弹、塑性变形功转变的热 Q_b ;
- 2) 单位时间内刀具前面与切屑底部摩擦所产生的热 Q_q ;
- 3) 单位时间内刀具后面与工件表面摩擦所产生的热 Q_h 。

$$Q = Q_b + Q_q + Q_h \quad (1-10)$$

如果忽略在进给运动中所做的功,则单位时间内所产生的热量等于在主运动中单位时间内所做的功,即

$$Q = F_c v_c \quad (1-11)$$

式中 F_c ——切削力；
 v_c ——切削速度。

切削热的传出：切削区里所产生的切削热，在切削过程中分别由切屑、工件、刀具和周围介质传出去。在干切削条件下，通常大部分切削热由切屑带走，其次为工件和刀具，介质传出的热量则最少。

4. 切削温度

在切削过程中，某一瞬时工件、切屑、刀具上各点的温度通常是不相同的，而且温度的分布，也就是温度场是随时间而变化的。一般所说的切削温度是指前面与切屑接触区域的平均温度。

1.2 切削刀具的基本知识

1.2.1 刀具的几何参数

1. 刀具切削部分的组成

外圆车刀的切削部分可以看做是各类刀具切削部分的基本形态。图 1-12 所示是外圆车刀的切削部分。

前面 A_γ ：切下的切屑沿其流出的表面。

主后面 A_α ：与工件上过过渡表面相对的表面。

副后面 A'_α ：与工件上已加工表面相对的表面。

主切削刃 S ：前面与主后面的交线，它承担主要切削工作。

副切削刃 S' ：前面与副后面的交线，它协同主切削刃完成切削工作，并最终形成已加工表面。

刀尖：主切削刃与副切削刃连接处的部分切削刃。

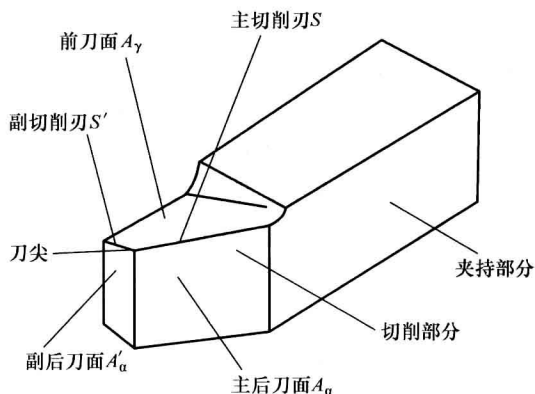


图 1-12 车刀切削部分的结构要素

2. 刀具的几何参数

刀具静止参考系的各平面如图 1-13 所示。

基面 p_r ：通过切削刃上的选定点，垂直于该点切削速度方向的平面。

切削平面 p_s ：通过切削刃上的选定点，与切削刃相切，且垂直于该点基面的平面。

正交平面 p_o ：通过切削刃上的选定点，垂直于基面和切削平面的平面。

法平面 p_n ：通过切削刃上的选定点，且与切削刃垂直的平面。

假定工作平面 p_f ：通过切削刃上的选定点，垂直于基面且平行于假定进给运动方向的平面。

背平面 p_p ：通过切削刃上的选定点，且垂直于基面和假定工作平面的平面。