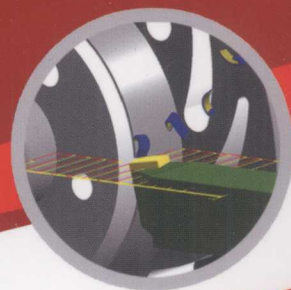


高职高专系列教材

SHUKONG JIAGONG GONGYI

数控加工工艺

胡相斌 主编
杨 晋 主审



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

责任编辑：黄彦芬
责任校对：王晓波
封面设计：七星工作室



SHUKONG JIAGONG GONGYI

ISBN 978-7-80229-805-7



9 787802 298057 >

定价：26.00 元

高职高专系列教材

数控加工工艺

胡相斌 主编
杨 晋 主审

中国石化出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了数控加工工艺知识。以数控技术应用岗位能力培养为出发点,针对数控工艺员、数控程序员、数控机床操作员就工艺机械零件数控加工工艺的制定,进行了较为详细的讲述。本书还强调实践教学的指导性,在内容编排上除了基础知识外,更多地通过典型实例明确解决问题的思路、方法,并安排了较多的实训练习项目,以期使读者在掌握基础知识的同时,掌握基本的方法。

本书可作为高职高专院校数控技术应用、模具制造及其他机械制造类专业的数控加工工艺课程教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺 / 胡相斌主编. —北京:中国石化出版社,
2008

(高职高专系列教材)

ISBN 978-7-80229-805-7

I. 数… II. 胡… III. 数控机床-加工工艺-高等学校:
技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第198382号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京密云红光制版公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本11.5印张288千字

2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

定价:26.00元

前 言

数控加工是在现代制造业中已广泛使用的一种先进加工技术。当前世界上正在进行新一轮的产业调整,制造业逐渐向发展中国家转移,我国已成为许多跨国公司的首选之地。尤其是近几年随着汽车、家电等产业的迅猛发展,给我国制造业带来了前所未有的发展机遇,也带来了巨大的挑战。以信息化带动工业化,对传统产业进行技术改造,提升国际竞争力,使我国由制造业大国向制造业强国迈进,已成为国家发展制造业的基本方针。同时,全国范围内制造装备的大规模数控化,直接导致许多制造企业面临数控加工工艺人员极度短缺的现象。数控技术应用专业技能型人才的紧缺已成为制约我国制造业发展的瓶颈。加快数控技术应用专业技能型人才的培养,成为我国高等职业教育的重要任务,为此,国家教育部启动了高等职业院校数控技术技能型紧缺人才培养工程,以缓解巨大的社会需求与人才培养滞后的矛盾。

本书正是在这样的社会背景下编写而成。全书以满足三年制高等职业教育人才培养目标为宗旨,重点讲述了金属切削基本原理、工件的安装定位、数控加工刀具、数控加工工艺基础知识、数控车削加工工艺制定、数控铣削加工工艺制定及加工中心加工工艺制定,同时结合典型零件的数控车削加工、数控铣削加工、加工中心加工等过程中的工艺制定进行了深入浅出的阐述,以翔实案例分析说明方法、步骤,并设置了相应的实践训练,以期作为高职高专数控技术应用专业工艺制定能力培养的教材,指导学生进行零件数控加工工艺制定。

本书由7个单元组成。其中,单元1、单元2由南京化工职业技术学院蔡华编写,第3~4单元由甘肃畜牧工程职业技术学院胡建龙编写,单元5由兰州石化职业技术学院胡宗政编写,第6~7单元由兰州石化职业技术学院胡相斌编写。全书由胡相斌副教授负责统稿和定稿。

本书由兰州交通大学杨晋教授主审。

本书在编写过程中得到了许多兄弟院校老师的支持,并提出了很多宝贵意见和建议,在此一并致谢。限于编者的水平,书中难免有欠妥或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年11月

目 录

单元1 金属切削基础	(1)
1.1 切削运动和切削要素	(1)
1.2 金属切削过程的基本规律	(3)
1.3 切削用量的确定及切削液的选择	(8)
1.4 改善工件材料的切削加工性能	(12)
习题	(14)
单元2 工件的安装定位与夹具	(16)
2.1 工件的定位原理	(16)
2.2 常见定位方式及定位元件	(18)
2.3 定位基准的选择	(22)
2.4 工件的装夹	(25)
2.5 数控机床常用夹具	(27)
习题	(29)
单元3 数控加工常用刀具	(31)
3.1 刀具材料概述	(31)
3.2 刀具的种类与结构	(40)
3.3 刀具的失效形式与耐用度	(41)
3.4 刀具的选用	(45)
习题	(46)
单元4 数控加工工艺基础	(47)
4.1 数控机床概述	(47)
4.2 机械加工工艺过程的基本概念	(52)
4.3 工件表面的加工方法及加工方案简介	(57)
4.4 机械加工质量控制	(60)
4.5 数控加工工艺制定	(63)
4.6 典型零件机械加工工艺案例分析	(77)
习题	(78)
单元5 数控车削加工工艺	(79)
5.1 数控车削加工对象	(79)
5.2 数控车削加工工艺的制定	(80)
5.3 典型零件的数控车削加工工艺案例分析	(105)
5.4 实践训练	(120)
习题	(123)
单元6 数控铣削加工工艺	(124)
6.1 数控铣削加工对象	(124)

6.2	数控铣削加工工艺的制定	(126)
6.3	典型零件的数控铣削加工工艺案例分析	(153)
6.4	实践训练	(157)
	习题	(161)
单元7 加工中心加工工艺		(162)
7.1	加工中心加工对象	(162)
7.2	加工中心加工工艺的制定	(164)
7.3	典型零件的加工中心加工工艺案例分析	(168)
7.4	实践训练	(175)
	习题	(177)
参考文献		(178)
(1)	..... 具夹已备宝装受活科工	2元单
(2)	..... 服烈前宝前科工	1.5
(3)	..... 科元前宝双友式前宝双常	5.5
(4)	..... 科前宝前宝	5.3
(5)	..... 夹装前科工	4.5
(6)	..... 具夹用前未前科工	2.5
(7)	.....	2元
(8)	..... 具夹用常工前科工	5元单
(9)	..... 夹装前科工	1.5
(10)	..... 因高已友科前具夹	5.5
(11)	..... 要用前已友科前具夹	5.5
(12)	..... 用装前具夹	4.5
(13)	.....	2元
(14)	..... 前基苦工工前科工	4元单
(15)	..... 夹装前科工	1.5
(16)	..... 念前本基前科工工前科工	4.5
(17)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(18)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(19)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(20)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(21)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(22)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(23)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(24)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(25)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(26)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(27)	..... 前前基苦工工前科工	4.5
(28)	.....	2元
(29)	..... 苦工工前科工	2元单
(30)	..... 前前基苦工工前科工	1.5
(31)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(32)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(33)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(34)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(35)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(36)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(37)	..... 前前基苦工工前科工	2.5
(38)	.....	2元
(39)	..... 苦工工前科工	6元单
(40)	..... 前前基苦工工前科工	1.5

单元1 金属切削基础

1.1 切削运动和切削要素

1.1.1 机床的切削运动

在金属切削加工中，为了切除工件上多余的金属，获得合乎技术要求的形状、尺寸精度和表面质量的工作表面，刀具与工件之间必须具有一定的相对运动，这种相对运动称为切削运动。机械加工的切削运动由机床提供，切削运动根据其功能不同可分为主运动和进给运动，如图1-1所示。

主运动：主运动是由机床或人力提供的主要运动，它促使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具前刀面接近工件。

进给运动：进给运动是由机床或人力提供的运动，它使刀具与工件之间产生附加的相对运动，加上主运动，即可不断地或连续地切除材料，并得到具有所需几何特征的表面。

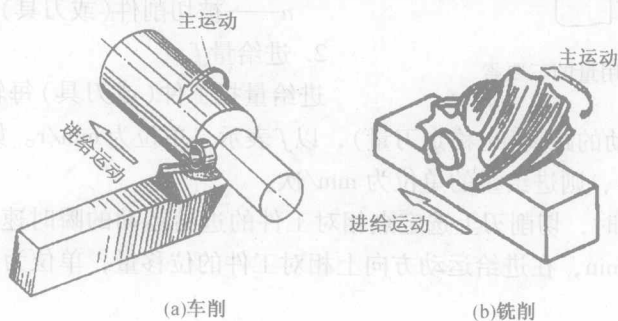


图1-1 切削运动

在这两个运动合成的切削运动作用下，工件表面的一层金属不断地被刀具切下并转变为切屑，从而加工出所需的工件表面。在新表面的形成过程中，工件上有三个依次变化着的表面，这三个表面依次是已加工表面、加工表面、待加工表面，如图1-2所示。

已加工表面：工件上被刀具切削过，并成为符合一定技术要求的表面。

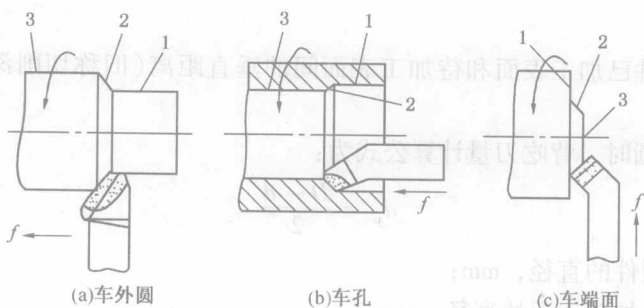


图1-2 车削时工件上的三个表面

1—已加工表面；2—加工表面；3—待加工表面

加工表面(过渡表面): 工件上由切削刃正在切削着的表面, 也就是待加工表面和已加工表面之间的过渡表面。

待加工表面: 工件上即将被切削的表面。

在金属切削过程中, 刀具的切削刃相对于工件运动的过程, 就是工件表面形成的过程。而在这个过程中, 切削刃相对于工件的运动轨迹所形成的表面, 就是工件上的加工表面和已加工表面。

1.1.2 切削要素

切削用量是表示主运动及进给运动大小的参数, 是切削速度 v_c 、进给量 f 、背吃刀量 a_p 三者的总称, 这三个参数也称为切削用量的三要素, 如图 1-3 所示。

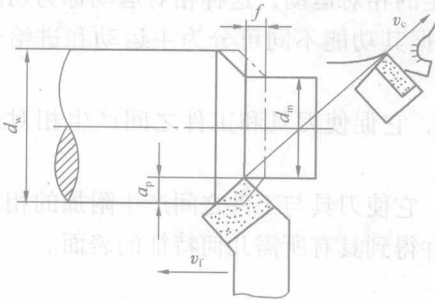


图 1-3 切削用量的三要素

1. 切削速度 v_c

切削速度指主运动的线速度, 以 v_c 表示, 单位为 m/s 。当主运动为旋转运动时, 其切削速度可按下式计算:

$$v_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (1-1)$$

式中 D ——被切削件(或刀具)的直径, mm ;

n ——被切削件(或刀具)的转速, r/min 。

2. 进给量 f

进给量指工件(或刀具)每转一转时, 刀具(或工件)沿进给方向移动的距离(也称走刀量), 以 f 表示, 单位为 mm/r 。如主运动为往复直线运动(如刨削、插削), 则进给量的单位为 $mm/次$ 。

铣刀在进给运动时, 切削刃上选定点相对工件的进给运动的瞬时速度, 称为进给速度。也就是铣刀每回转 $1min$, 在进给运动方向上相对工件的位移量, 单位为 mm/min 。三者之间的关系为:

$$v_f = f n = f_z z n \quad (1-2)$$

式中 v_f ——进给速度, mm/min ;

f_z ——每齿进给量, mm/z ;

f ——每转进给量, mm/r ;

n ——铣刀或铣床主轴转速, r/min ;

z ——齿数。

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量指工件已加工表面和待加工表面间的垂直距离(旧称切削深度), 以 a_p 表示, 单位为 mm 。

在车床上车外圆时, 背吃刀量计算公式为:

$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad (1-3)$$

式中 D ——被切削件的直径, mm ;

d ——工件已加工表面的直径, mm 。

例 1-1 在铣床上, 用直径为 $80mm$ 的圆柱形铣刀, 以 $25m/min$ 的铣削速度进行铣削。问铣床主轴转速应调整到多少?

解：已知： $d = \phi 80\text{mm}$ ； $v_c = 25\text{m/min}$

$$n = \frac{1000v_c}{\pi d} = \frac{1000 \times 25}{3.14 \times 80} = 99.5\text{r/min}$$

答：根据铣床铭牌，转速应调整到 95r/min。

例 1-2 已知工件待加工表面直径为 $\phi 95\text{mm}$ ，现一次进给车至直径 $\phi 90\text{mm}$ ，求背吃刀量？

解：已知： $D = \phi 95\text{mm}$ ； $d = \phi 90\text{mm}$

$$a_p = \frac{D - d}{2} = \frac{95 - 90}{2} = 2.5\text{mm}$$

答：背吃刀量应为 2.5mm。

例 1-3 把一把直径为 25mm、齿数为 3 的立铣刀，在 X5032 型铣床上铣削，采用每齿进给量 f_z 为 0.04mm/z，铣削速度 v_c 为 24m/min。试调整铣床的转速和进给速度。

解：已知： $d = \phi 25\text{mm}$ ； $z = 3$ ； $f_z = 0.04\text{mm/z}$ ； $v_c = 24\text{m/min}$

$$n = \frac{1000v_c}{\pi d} = \frac{1000 \times 24}{3.14 \times 25} = 305.7\text{r/min}$$

根据铣床铭牌，实际选择转速为 300r/min。

$$v_f = f_z z n = 0.04 \times 3 \times 300 = 36\text{mm/min}$$

根据铣床铭牌，实际选择转速为 37.5mm/min。

答：调整铣床的转速为 300r/min，进给速度为 37.5mm/min。

当计算所得到的数值与铣床铭牌上所标数值不一致时，可按与计算所得数值最接近的铭牌数值选取。若计算所得数值处在铭牌上两个数值的中间时，则应按较小的铭牌值选取。

1.2 金属切削过程的基本规律

1.2.1 切削的变形及其种类

金属切削过程实质上是切削金属层，在刀具偏挤压作用下产生剪切滑移的塑性变形过程。虽然切削过程中必然产生弹性变形，但其变形量与塑性变形相比则可忽略不计。在研究切削形成的机理时都是以直角自由切削为基础。所谓“直角自由切削”的含义是：①只有一条直线切削刃参加切削；②切削刃与合成切削速度 v_c 垂直。这样被切削金属层只发生平面变形而无侧向移动，因此问题比较简单。

1. 切削的变形

为了研究方便，通常把切削过程的塑性变形划分为三个变形区，如图 1-4 所示。

(1) 第一变形区的剪切变形

被切削金属层在刀具前面的挤压力作用下，首先产生弹性变形，当最大切应力达到材料的屈服极限时，即沿图 1-5 中的 OA 曲线发生剪切滑移。随着刀具前面的逐渐趋近，塑性变形逐渐增大，并伴随着变形强化，直至 OM 曲线滑移终止，被切削金属层与母体脱离成为切削沿前面向流出。曲线 $OAMO$ 所包围的区域是剪切滑移区，又称第一变形区，它是金属切削过程中的主要变形区，消耗大部分功

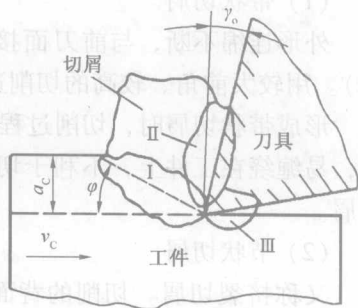


图 1-4 三个变形区的划分

I—第一变形区；II—第二变形区；III—第三变形区

率并产生大量的切削热。实际上曲线 OA 与曲线 OM 间的宽度很窄，约为 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$ ，且切削速度越高，宽度越窄。为使问题简化，设想用一个平面 OM 代替剪切滑移区，平面 OM 称为剪切平面。剪切平面与切削速度之间的夹角称为剪切角，以 ϕ 表示。

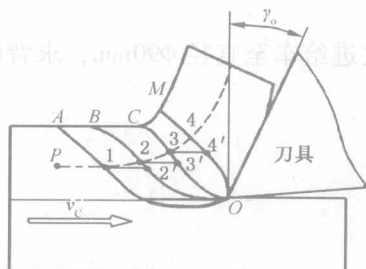


图 1-5 第一变形区金属的剪切滑移

(2) 第二变形区的变形

经第一变形区剪切滑移而形成的切屑，在沿前面流出过程中，靠近前面处的金属受到前面的挤压而产生剧烈摩擦，再次产生剪切变形，使切屑底层薄薄的一层金属流动滞缓，这一层滞缓流动的金属层称为滞流层。滞流层的变形程度比切屑层大几倍到几十倍。

(3) 第三变形区的变形

第三变形区的变形是指工件过渡表面和已加工表面金属层受到切削刃钝圆部分和后面的挤压、摩擦而产生塑性变形的区域，造成表层金属的纤维化和加工硬化，并产生一定的残余应力。第三变形区的金属变形，将影响到工件的表面质量和使用性能。

以上分别讨论了三个变形区各自的特征。但必须指出，三个变形区是互相联系而又互相影响的。金属切削过程中的许多物理现象都和三个变形区的变形密切相关。研究切削过程中的变形，是掌握金属切削加工技术的基础。

2. 切屑的种类

当工件材料不同或切削条件不同时，切削过程中的金属变形程度也不相同，从而形成不同的切屑。根据切削过程中变形程度的不同，可把切屑分为四种不同的状态，如图 1-6 所示。

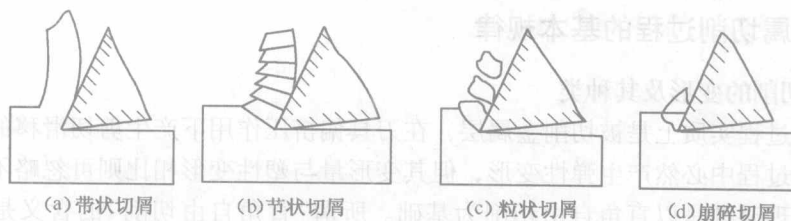


图 1-6 切屑种类

(1) 带状切屑

外形连绵不断，与前刀面接触的面很光滑，背面呈毛茸状，无明显裂纹，如图 1-6 (a)。用较大前角、较高的切削速度和较小的进给量切削塑性材料时，容易得到带状切屑。

形成带状切屑时，切削过程较平稳，切削力波动较小，加工表面较光洁。但切屑连续不断，易缠绕在工件上，不利于切屑的清除和运输，生产上常采用在车刀上磨断屑槽等方法断屑。

(2) 节状切屑

又称挤裂切屑。切削的背面呈锯齿形，底面有时出现裂纹，如图 1-6 (b) 所示。采用较低的切削速度和较大的进给量切削中等硬度的钢件时，容易得到节状切屑。这种切屑的形成过程是典型的金属切削过程，由于切削力波动较大，切削过程不平稳，工件表面较粗糙。

(3) 粒状切屑

又称单元切屑。采用小前角或负前角，以极低的切削速度和大的切削厚度切削塑性金属时，会产生这种切削，如图 1-6(c)。产生粒状切削时，切削过程不稳定，切削力波动较大，已加工表面粗糙度值较大。

(4) 崩碎切屑

切削铸铁等脆性材料时，切削层产生弹性变形后，一般不经过塑性变形就突然崩碎，形成不规则的碎块状屑片，称为崩碎切屑，如图 1-6(d)。产生崩碎切屑过程中，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，切削过程不平稳，影响表面质量。

切屑形状随着切削条件不同而变化。例如，加大前角、提高切削速度或减小进给量可将节状切屑变成带状切屑。因此，生产上常根据具体情况采取不同措施得到所需的切屑，以保证切削顺利进行。

1.2.2 积屑瘤和鳞刺

1. 积屑瘤

① 积屑瘤及其特征。切削塑性金属材料时，常在切削刃口附加黏结一硬度很高的楔状金属块，它的硬度通常为工件材料硬度的 2~3.5 倍，包围着切削刃且覆盖部分前面，这种楔状金属块称为积屑瘤，如图 1-7 所示。积屑瘤能代替刀尖担负实际切削工作，故而可减轻刀具磨损。同时积屑瘤使实际前角增大，刀和屑的接触面积减小，从而使切削变形和切削力减小。另一方面积屑瘤顶部和被切削金属界限不清，不断发生着长大和破裂脱离的过程。脱落的碎片会损伤刀具表面，或嵌入已加工表面造成刀具磨损和已加工表面的表面粗糙度值增大。由于积屑瘤的不稳定，引起切削力的波动，常会引起切削过程的不稳定，同时积屑瘤还会形成切削刃的不规则和光滑，使已加工表面非常粗糙，尺寸精度降低，因此精加工时必须设法抑制积屑瘤的形成。

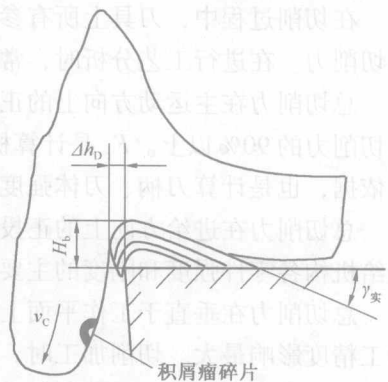


图 1-7 积屑瘤

② 积屑瘤的成因及其抑制措施。积屑瘤的形成和刀具前面的摩擦有着密切关系。一般认为，最基本的原因是由于高压和一定的温度，以及刀具和切屑界面在新鲜金属接触的情况下，和原子间的亲和力作用，产生切屑底层的黏结和堆积。

影响积屑瘤的因素很多，主要有工件材料、切削速度、切削液、刀具表面质量和前角以及刀具材料等切削条件。工件材料塑性高、强度低时，切削与前面摩擦大，切削变形大，容易粘刀而产生积屑瘤，而且积屑瘤尺寸也较大。切削脆性金属材料时，切屑呈崩碎状，刀和屑接触长度较短，摩擦较小，切削温度较低，一般不易产生积屑瘤。实际生产中，可采取下列措施抑制积屑瘤的生成。

a. 切削速度。切削速度的大小影响着加工时的切削温度，而切削温度对前刀面的最大摩擦系数和工件材料性质的影响直接关系到积屑瘤，控制切削速度使切削温度控制在 300℃ 以下或 500℃ 以上，就可以减少积屑瘤的生成，所以具体加工中采用低速或高速切削是抑制积屑瘤的基本措施。

b. 进给量。进给量增大，则切削厚度增大，刀具和切屑的接触长度越长，则形成积屑

瘤的生成基础。若适当降低进给量，则可削弱积屑瘤的生成基础。

c. 前角。若增大刀具前角，切屑变形减小，则切削力减小，从而使前刀面上的摩擦减小，减小了积屑瘤的生成基础。实践证明，前角增大到 35° 时，一般不产生积屑瘤。

d. 切削液。采用润滑性能良好的切削液可以减少或消除积屑瘤的产生。

2. 鳞刺

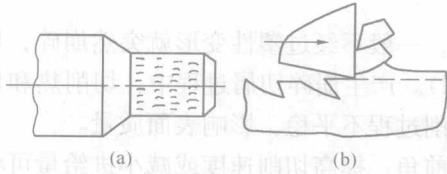


图 1-8 鳞刺现象

鳞刺是已加工表面上出现的鳞片状反刺，如图 1-8(a)所示。它是以较低的速度切削塑性金属时（如拉削、插齿、滚齿、螺纹切削等）常出现的一种现象，使已加工表面质量恶化，表面粗糙度值增大 2~4 级。

鳞刺生成的原因是由于部分金属材料的黏结层积，而导致即将切离的切削根部发生断裂，在已加工表面层留下金属被撕裂的痕迹，如图 1-8(b)所示。与积屑瘤相比，鳞刺产生的频率较高，避免产生鳞刺的措施与积屑瘤类似。

1.2.3 切削力

在切削过程中，刀具上所有参与切削的各切削部分所产生的总切削力的合力称为刀具的总切削力。在进行工艺分析时，常将总切削力分解成三个相互垂直的力，如图 1-9 所示。

总切削力在主运动方向上的正投影，称为切削力，用符号 F_c 表示。切削力的大小约占总切削力的 90% 以上。 F_c 是计算机床动力、设计主传动系统的零件、夹具强度和刚度的主要依据，也是计算刀柄、刀体强度和选择切削用量的依据。

总切削力在进给方向上的正投影，称为进给力，用符号 F_f 表示。进给力是设计和验算进给机构各零件强度和刚度的主要依据，影响零件的几何精度。

总切削力在垂直于工作平面上的分力，称为背向力，用符号 F_p 表示。背向力对工件的加工精度影响最大。切削加工时，易使工件产生弹性弯曲，引起振动。对于刚度差的细长轴类工件，背向力对其加工精度的影响见图 1-10 所示。采用双顶尖装夹时，加工后工件呈鼓形；使用三爪自定心卡盘装夹时，加工后工件呈喇叭形。

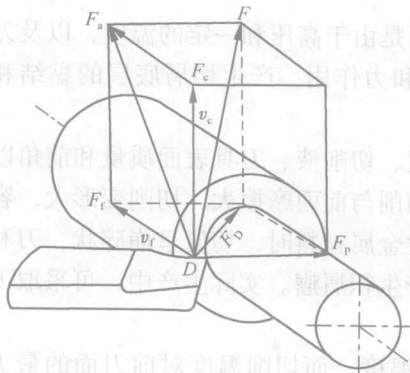
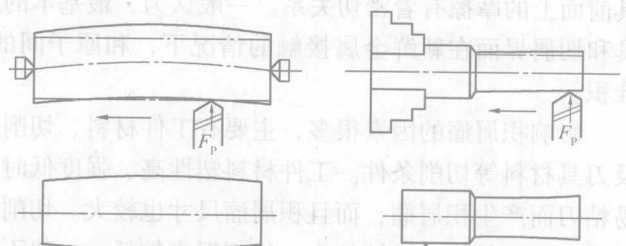


图 1-9 切削过程中的力的分解



(a) 双顶尖装夹

(b) 三爪自定心卡盘装夹

图 1-10 背向力对形状误差的影响

在切削过程中，切削力能使工件、机床、刀具与夹具变形，影响加工精度。为提高加工精度，应减小切削力，增大工艺系统刚度。影响切削力的因素很多，其中工件材料、切削用

量、刀具角度影响较大。材料的强度、硬度越高，则变形抗力越大，切削力也越大；切削用量增大，将导致切削力增大；刀具前角增大、刃口锋利，可使切削力减小。

1.2.4 切削热和切削温度

在切削过程中所消耗的功，绝大部分转变为热，即切削热。切削热的主要来源是被切削层金属的变形、切屑与前刀面的摩擦和工件与刀具后面的摩擦。切削热的产生和传散，影响切削区域的温度。切削区域的平均温度称为切削温度。

切削热通过切削、工件、刀具以及周围介质传散，如图 1-11 所示。传入切削和介质的切削热越多，对加工越有利。传入工件的热会引起工件热变形，影响尺寸和形状精度。特别是加工薄壁零件、细长杆零件和精密零件时，热变形的影响最大。传入刀具的热会使刀头的温度升高，高速切削时，刀头的温度最高处可达 1000°C 以上。刀头的温度过高，将加快刀具的磨损。

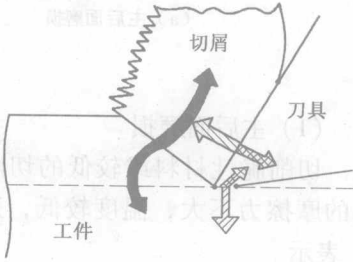


图 1-11 切削热的来源与传散

工件材料是影响切削温度的重要因素。材料的强度、硬度越高，切削时消耗的功越多，切削温度就越高。在强度、硬度大致相同的条件下，塑性、韧性好的金属材料切削时塑性变形严重，产生的切削热较多，切削温度升高。材料的热导性好，可降低切削温度。刀具前角和主偏角对切削温度也有较大影响。一般来说，前角增大会使切削温度降低；主偏角减小也使切削温度降低。切削速度、进给量、背吃刀量对切削温度的影响中，切削速度影响最大，背吃刀量影响最小。从降低切削温度的角度考虑，优先采用大的背吃刀量和进给量，再确定合理的切削速度。切削液既能迅速从切削区带走大量的热，又能减小摩擦，使切削温度明显下降。

1.2.5 刀具的磨损和耐用度

在切削过程中，刀具在高压、高温和强烈摩擦条件下工作，切削刃由锋利逐渐变钝以致失去正常切削能力。刀具磨损超过允许值后，须及时刃磨，否则会引起振动并使加工质量下降。

1. 刀具磨损的过程及形式

刀具磨损的过程可分为三个阶段，如图 1-12 所示。

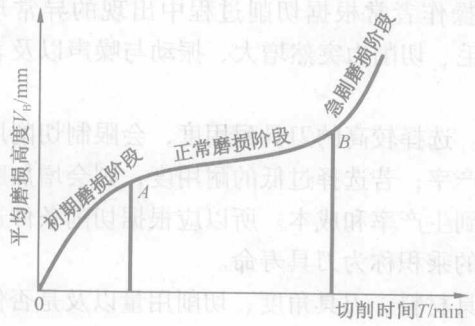


图 1-12 刀具磨损过程

① 初期磨损阶段。发生在刀具开始切削的短时间内。因为刃磨后的刀具表面仍存在微观粗糙不平，故磨损较快。

② 正常磨损阶段。经初期磨损后，刀具粗糙表面逐渐磨平，刀面上单位面积压力减少，磨损比较缓慢且均匀，进入正常磨损阶段。该阶段磨损量与切削时间近似成比例增加。

③ 急剧磨损阶段。当磨损量增加到一定程度后，刀具已磨损变钝，切削力与切削时间迅速升高，磨损量急剧增加，刀具失去正常的切削能力。因此，在这阶段到来之前，就应及时换刀。

2. 刀具的磨损形式

刀具正常磨损时，按磨损部位不同，可分为主后面磨损、前刀面磨损、前刀面和主后面同时磨损三种形式，如图 1-13 所示。

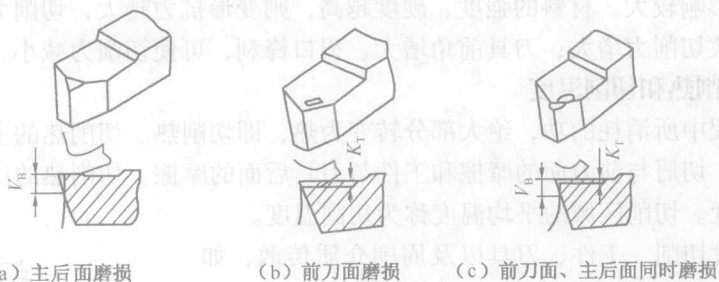


图 1-13 刀具的磨损情况

(1) 主后面磨损

一切削脆性材料或较低的切削速度和较小的切削层公称厚度切削塑性材料时，前刀面上的摩擦力不大，温度较低，这时磨损主要发生在主后面上，磨损程度用平均磨损高度 V_B 表示。

(2) 前刀面磨损

以较高的切削速度和较大的切削层公称厚度切削塑性材料时，切削对前刀面的压力大，摩擦剧烈，温度高，在前刀面附近出现月牙洼，月牙洼扩大到一定程度，刀具就会崩刃。前刀面磨损程度用月牙洼最大深度 K_T 表示。

(3) 前刀面、主后刀面同时磨损

以中等切削速度和中等切削层公称厚度切削塑性材料时，常会发生这种磨损。

3. 刀具耐用度

刀具两次刃磨之间实际切削的时间，称为刀具的耐用度。在实际生产中，不可能经常测量刀具的磨损程度，而是规定刀具的使用时间。调查表明：硬质合金车刀，耐用度大致为 60~90min，钻头的耐用度大致为 80~120min，硬质合金铣刀的耐用度大致为 90~180min，齿轮刀具的耐用度大致为 200~300min。有经验的操作者常根据切削过程中出现的异常现象，来判断刀具是否已经磨钝。例如，切屑变色发毛、切削力突然增大、振动与噪声以及表面粗糙度值显著增大等。

刀具耐用度的选择与生产率、成本有直接关系。选择较高的刀具耐用度，会限制切削用量的提高，特别是要限制切削速度，这就影响到生产率；若选择过低的耐用度，则会增加磨刀次数，增加辅助时间和刀具材料消耗，仍然影响到生产率和成本。所以应根据切削条件选用合理的刀具耐用度。刀具耐用度与刀具重磨次数的乘积称为刀具寿命。

影响刀具耐用度的因素很多，主要有工件和刀具材料、刀具角度、切削用量以及是否使用切削液等。在切削用量中，切削速度对耐用度影响最大。

1.3 切削用量的确定及切削液的选择

1.3.1 切削用量的确定

切削用量的选择原则：考虑切削力、切削功率、刀具磨损、加工质量和加工成本。

1. 车床常用切削用量的选择方法

合理选择切削用量，是指车刀角度确定后，合理确定背吃刀量、进给量和切削速度三个参数值，以便车削时充分发挥车床、车刀的效能，在保证工件质量的前提下，尽可能提高生产率。

(1) 粗车时切削用量的选择

粗车时选择切削用量主要是考虑提高生产效率,同时兼顾刀具寿命。加大背吃刀量 a_p 、进给量 f 和提高切削速度 v_c 都能提高生产效率。但是对刀具寿命都有不利影响,其中影响最小的是 a_p ,其次是 f ,最大是 v_c 。所以,粗车时选择切削用量,首先应选择一个尽可能大的背吃刀量 a_p ,其次选择一个较大的进给量 f ,最后根据已选定的 a_p 和 f ,在工艺系统刚度、刀具寿命和机床功率许可的条件下选择一个合理的切削速度 v_c 。

(2) 半精车、精车时切削用量的选择

半精车、精车时选择切削用量,应首先考虑保证加工质量,并注意兼顾生产效率和刀具寿命。

半精车、精车时的背吃刀量是根据加工精度和表面粗糙度要求由粗车后留下的余量确定的。一般情况下,在数控车床上所留的精车余量比在卧式车床上要小。

半精车、精车时的背吃刀量为:半精车时,选取 $a_p=0.5\sim 2.0\text{mm}$;精车时,选取 $a_p=0.05\sim 0.8\text{mm}$;在数控机床上进行精车时,选取 $a_p=0.1\sim 0.5\text{mm}$ 。

半精车、精车时的背吃刀量较小,产生的切削力不大,所以加大进给量对工艺系统强度和刚度的影响较小。半精车、精车时,进给量的选择主要受表面粗糙度的限制。表面粗糙度要求越小,则进给量可选择小些。

为了提高工件表面质量,用硬质合金车刀精车时,一般采用较高的切削速度, $v_c>80\text{m}/\text{min}$;用高速钢车刀精车时,选用较低的切削速度 $v_c<5\text{m}/\text{min}$;在数控机床上车削工件时,切削速度可选择高些。

2. 铣床常用切削用量的选择方法

(1) 切削层深度的选择

端铣时的铣削深度、圆周铣削时的铣削宽度,即是被切金属层的深度。当铣床功率足够、工艺系统的刚度和强度允许,且加工精度要求不高及加工余量不大时,可一次进给铣去全部余量。当加工精度要求较高或加工表面的表面粗糙度 R_a 值要小于6.3时,应分粗铣和精铣。粗铣时,除留下精铣余量外,应尽可能一次进给切除全部粗加工余量。

端铣时,铣削深度的推荐数值见表1-1。当工件材料的硬度和强度较高时,取表中较小值。当加工余量较大时,除增加进给次数外,可采用阶梯铣削法铣削,以提高生产效率。

表1-1 端铣时铣削深度的推荐值

mm

工件材料	高速工具钢铣刀		硬质合金铣刀	
	粗铣	精铣	粗铣	精铣
铸 铁	5~7	0.5~1	10~18	1~2
软 钢	<5	0.5~1	<12	1~2
中硬钢	<4	0.5~1	<7	1~2
硬 钢	<3	0.5~1	<4	1~2

圆周铣削时的铣削宽度,粗铣时可比端铣时的铣削深度大。因此,在铣床功率足够和工艺系统的刚度、强度允许的条件下,尽量在一次进给中把粗铣余量全部切除。精铣时,可参照端铣时的值。

阶梯铣削所用阶梯铣刀的刀齿分布在刀体不同的回转半径上,且各刀齿在轴向伸出刀体的距离也不相同。回转半径越大的刀齿在轴向伸出的距离越短。也就是后刀齿的位置比前刀齿在半径上小 ΔR 的距离,而在轴向则比前刀齿多伸出 Δa_r 的距离。阶梯铣削法能使工件的全部加工余量,沿铣削深度方向分配到各刀齿上。采用阶梯铣削,使每齿进给量和切削层深度增大,切削层宽度减小,切出的切屑窄而厚,既降低了铣削力,又有利于排屑,故可减小振动和功率消耗。

(2) 进给量的选择

粗铣时,限制进给量提高的主要因素是铣削力。进给量主要根据铣床进给机构的强度、铣刀杆尺寸、刀齿强度以及工艺系统的刚度来确定。在上述条件许可的情况下,进给量应尽量取得大些。

精铣时,限制进给量提高的主要因素是加工表面的表面粗糙度,进给量越大,表面粗糙度值也越大。为了减小工艺系统的弹性变形,减小已加工表面残留面积的高度,一般采用较小的进给量。

(3) 铣削速度的选择

在铣削深度、铣削宽度、进给量确定后,最好选择确定铣削速度。铣削速度是在保证加工质量和铣刀耐用度的前提下确定的。

铣削时,影响铣削速度的主要因素有铣刀材料的性质和铣刀耐用度、工件材料的性质、铣削条件及切削液的使用情况等。

粗铣时,由于金属切除量大,产生热量多,切削温度高,为了保证合理的铣刀耐用度,铣削速度要比精铣时低一些。在铣削不锈钢等韧性好、强度高的材料以及其他一些硬度高、热强度性能高的材料时,铣削速度更应低一些。此外,粗铣时铣削力大,必须考虑铣床功率是否足够,必要时应适当降低铣削速度,以减小功率。

精铣时,由于金属切除量小,所以在一般情形下,可采用比粗铣时高一些的铣削速度。但铣削速度的提高将加快铣刀的磨损速度,从而影响加工精度。因此,精铣时限制铣削速度的主要因素是加工精度和铣刀耐用度。在精铣加工面积大的工件时,往往采用铣削速度比粗糙时还要低的低速铣削,以使刀刃和刀尖的磨损量极小,从而获得高的加工精度。

1.3.2 切削液的选择

合理地选用冷却润滑液,可以有效地减少切削过程中刀具与切屑、工件加工表面的摩擦,从而降低切削力和功率的消耗及由此而转化的切削热量;同时通过冷却润滑液的循环,及时地吸收并带走切削区域中产生的热量。因此,冷却润滑液从减少切削热量的产生和及时带走切削热量这两方面使切削区域平均温度降低,提高了刀具耐用度和已加工表面质量,有效地提高了生产率。使用冷却润滑液,一般可使切削速度提高5%~20%,表面粗糙度数值减小,可节省能源5%~20%。

1. 切削液的作用

(1) 切削液的冷却作用

切削液也称冷却润滑液,具有冷却作用,可从两个方面来降低切削温度:一是减少切屑、工件与刀具之间的摩擦,使切削热“产得少”;二是将已产生的切削热及时地从切削区域吸收并带走,使切削热“传得快”。从两方面起到降温冷却作用,进而提高了刀具耐用度和加工质量。在刀具材料耐热性差、工件材料热膨胀系数较大以及两者导热性较差的情况下,切削液的冷却作用显得特别重要。