

机械加工工艺基础

李绍明 主编

北京理工大学出版社

新登字 149 号

内 容 简 介

本书共分四篇,包括金属切削原理、金属切削刀具、金属切削机床及专题部分。本书在内容与结构体系上作了某些更新,传统的金属工学教材的体系,加强了金属切削基础理论及专用刀具的设计及新技术新工艺方面的内容。本书是编者多年教学实践经验并参阅了国内外有关资料及参考书籍的基础上编写的。在内容编排与文字叙述及插图上尽量考虑的方便。

本书适用于高等工科院校机械类专业,可作为学时数为 30—40 的机械加工工艺基础课程教材。也可作为电视大学、业
人教育机械类专业切削加工教材,并可供有关工程技术人员参考。

机械加工工艺基础

李绍明 主编

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

秦皇岛市卢龙印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 19 印张 450 千字

1993 年 11 月第一版 1993 年 11 月第一次印刷

ISBN 7-81013-876-6/TH·63

印数:1-8 000 册 定价:10.95 元

前 言

本教材是根据国家教委《高等工业学校工程材料及机械制造基础》课程基本要求中关于《机械加工工艺基础》的基本要求并结合机械设计类专业有后续《专业制造工艺》课的特点编写的。本教材共分四篇包括下述基本内容：

一、金属切削原理：主要分析切削过程的基本规律及应用；

二、金属切削刀具：主要分析通用刀具的结构与选择并简要介绍专用刀具的设计原则与要点；

三、金属切削机床：主要分析有代表性的通用典型机床，如车床、磨床、滚齿机的传动结构，并对我国现行机床的分类及编号作了简要介绍；

四、专题部分：以专题形式分别对典型表面加工、零件结构工艺性、精密及超精密加工及机械加工自动化等内容作了介绍。

本教材取材与编写的主要特点为打破传统的以工种为纲的系统，而改为四部分可以便于课程内容的深入及避免与金工实习的重复。在编写过程中注意到贯彻：加强基础、内容更新、注重能力的培养，同时考虑到扩大知识面，适当反映国内外的新成果，并以专题形式介绍新技术新工艺的内容。全书贯彻国家法定计量单位及国际规定的名词、术语定义及代号符号。

本书内容比教学计划规定的学时略多，以便不同专业使用时适当的选择。

本书各篇作者为：第一篇郭汉林，第二篇李绍明，第三篇李卓英，第四篇牧森林。全书由李绍明负责主编，于启勋负责主审。

由于编者水平所限和编写时间较仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

1993年4月

目 录

第一篇 金属切削原理

第一章 金属切削过程	1
§ 1-1 切削层参数	1
§ 1-2 金属切削过程的变形	3
§ 1-3 金属切削过程的物理现象	10
第二章 刀具磨损与耐用度及切削用量选择	21
§ 2-1 刀具磨损	21
§ 2-2 切削液	24
§ 2-3 刀具耐用度	26
§ 2-4 选择切削用量的原则	30
第三章 刀具几何角度及刀具材料	37
§ 3-1 刀具几何角度	37
§ 3-2 刀具材料	42
§ 3-3 刀具几何角度的选择	51
第四章 工件材料切削加工性	58
§ 4-1 材料切削加工性概念与指标	58
§ 4-2 材料的性能对切削加工性影响	60
§ 4-3 常用金属材料的切削加工性	62
§ 4-4 改善切削加工性的途径	65

第二篇 金属切削刀具

第五章 车刀	70
§ 5-1 硬质合金焊接车刀	70
§ 5-2 机夹式车刀	73
§ 5-3 成形车刀	78
第六章 铣刀	89
§ 6-1 铣削过程	89
§ 6-2 铣刀	96
§ 6-3 成形铣刀	102
第七章 孔加工刀具	107
§ 7-1 钻削与钻头	107
§ 7-2 铰刀	121
§ 7-3 镗刀	126
§ 7-4 孔加工复合刀具	127
第八章 其它刀具	129

§ 8-1 齿轮刀具	129
§ 8-2 非渐开线展成刀具	136
§ 8-3 螺纹刀具	137
§ 8-4 拉刀	141
第九章 磨具	145
§ 9-1 概述	145
§ 9-2 砂轮	146
§ 9-3 磨削	152

第三篇 金属切削机床

第十章 机床的类型与型号编制	158
§ 10-1 机床的类型	158
§ 10-2 机床的切削运动与性能	159
§ 10-3 机床型号的编制方法	163
第十一章 车床	168
§ 11-1 概述	168
§ 11-2 CA6140 型普通车床	169
§ 11-3 车床精度及其对加工质量的影响	187
第十二章 磨床	190
§ 12-1 概述	190
§ 12-2 磨床的类型及其用途	191
§ 12-3 液压传动简介	198
§ 12-4 MM1420 型精密外圆磨床	201
§ 12-5 光整加工方法简介	204
第十三章 齿轮加工机床	209
§ 13-1 概述	209
§ 13-2 铣齿	211
§ 13-3 滚齿机	213
§ 13-4 插齿机	220
§ 13-5 齿轮精加工方法简介	222

第四篇 专题部分

第十四章 零件加工方法选择及结构工艺性设计	226
§ 14-1 零件表面加工方法选择	226
§ 14-2 机械加工零件结构工艺性设计	231
第十五章 精密加工及超精密加工	238
§ 15-1 高精度加工机床	238
§ 15-2 超精密加工技术	246
§ 15-3 振动切削加工技术	248
第十六章 生产系统自动化	253
§ 16-1 大批大量生产的自动化设备	254
§ 16-2 批量生产系统的自动化	258

第十七章 特种加工	267
§ 17-1 电火花加工	267
§ 17-2 电解加工	272
§ 17-3 激光加工	274
§ 17-4 超声波加工	275

第一篇 金属切削原理

金属切削原理是研究金属切削加工基本规律的学科。金属切削加工是刀具从工件表面上切去多余金属的过程,始终贯穿着刀具与工件之间的相互运动、相互作用。研究金属切削基本规律的目的在于指导生产实际,以达到保证产品质量,提高生产效率和降低成本的目的。金属切削原理的基本内容为,研究金属切削变形、切削力、切削热及刀具磨损的机理及其规律;探讨提高刀具材料的切削性能、改善工件材料切削加工性的途径;掌握合理选择刀具的几何参数、正确选择切削液及切削用量的原则等。

第一章 金属切削过程

§ 1-1 切削层参数

在切削过程中,刀具的切削刃沿进给方向移动一个进给量 f (mm/r)时,从工件待加工表面切下的金属层在基面中所截得的截面称为切削层。外圆车削时的切削层如图 1-1 所示。它直接影响着切屑的尺寸和刀具切削部分所承受的负荷。

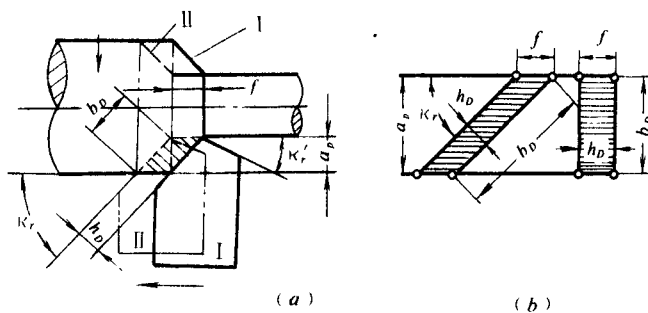


图 1-1 切削层参数

一、切削厚度 h_D

切削层厚度是指相邻两个加工表面之间的垂直距离。外圆车削时,若车刀主刃为直线,则切削层切削厚度 h_D (见图 1-1b)为

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

式中 κ_r ——车刀主偏角;
 f ——进给量(mm/r)。

二、切削宽度 b_D

切削层宽度是指沿加工表面度量的切削层尺寸。当车刀切削刃为直线时,则切削层的切削宽度 b_D (图 1-1b)为

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1-2)$$

式中 a_p ——切削深度(mm)。

三、切削面积 A_D

切削层的面积称为切削面积,以 A_D 表示。其计算公式为

$$A_D = h_D \cdot b_D \text{mm}^2 \quad (1-3)$$

车削时(图 1-1)的切削面积 A_D 为

$$A_D = h_D \cdot b_D = f \cdot \sin \kappa_r \cdot \frac{a_p}{\sin \kappa_r} = f \cdot a_p \quad (1-4)$$

上述的计算面积称为名义切削面积,如图 1-2 所示的 $ACDB$ 。由于车刀结构关系,切削时在已加工表面上留有未切除的切削层 AEB ,称为残留面积,以 ΔA_D 表示。所以实际切削面积 A_{Dc} ($ACDE$)应为

$$A_{Dc} = A_D - \Delta A_D$$

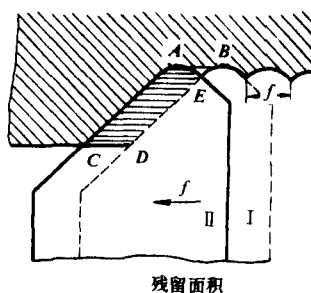


图 1-2 残留面积

四、残留面积高度及其与表面粗糙度关系

(一) 残留面积高度

切削加工中,残留面积的高度直接影响已加工表面的粗糙度,由图 1-3(a)可求出残留面积高度 R_{\max} 为

$$R_{\max} = \frac{f}{\text{ctg} \kappa_r + \text{ctg} \kappa'_r} \quad (1-5)$$

(二) 残留面积高度与粗糙度的关系

由残留面积高度所形成的表面粗糙度称为理论粗糙度。根据粗糙度算术平均值 R_a 的定义及残留面积几何形状(图 1-3b 所示)求出理论粗糙度 R_a 为

$$R_a = \frac{|\Delta ade| + |\Delta e gf|}{f}$$

由图 1-3(b)可知:

$$\Delta ade = \Delta e gf = \frac{1}{2} \cdot \frac{f}{2} \cdot \frac{R_{\max}}{2} = f R_{\max} / 8$$

故

$$R_a = \frac{f R_{\max} / 8 + f R_{\max} / 8}{f} = \frac{1}{4} R_{\max}$$

残余面积高度 R_{\max} 与刀尖形状及进给量 f 有关(三种情况)。

1) 刀尖半径 $r_c = 0$, 如图 1-3 所示, 残留面积高度 R_{\max} 可由式 1-5 求出。

2) 刀尖圆弧半径较大, 进给量 f 较小时, 残留面积纯由圆弧刃形成(图 1-4a 所示), 可由

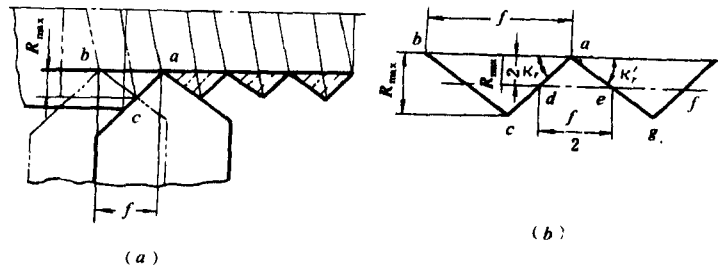


图 1-3 刀尖半径 $r_\epsilon=0$ 残留面积高度

图 1-4(b) 推出 R_{\max} 的计算式为

$$R_{\max} = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2}$$

整理后略去 r_ϵ 的高次项可得:

$$R_{\max} = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (1-6)$$

3) 刀尖圆弧半径较小, 进给量 f 较大时, 残留面积由直线的主、副刀刃和圆弧刃共同形成 (图 1-4c 所示), 可由图 1-4(d) 推出 R_{\max} 的计算式为

$$R_{\max} = \frac{f - r_\epsilon \left(\operatorname{tg} \frac{k_r}{2} + \operatorname{tg} \frac{k'_r}{2} \right)}{\operatorname{ctg} k_r + \operatorname{ctg} k'_r} \quad (1-7)$$

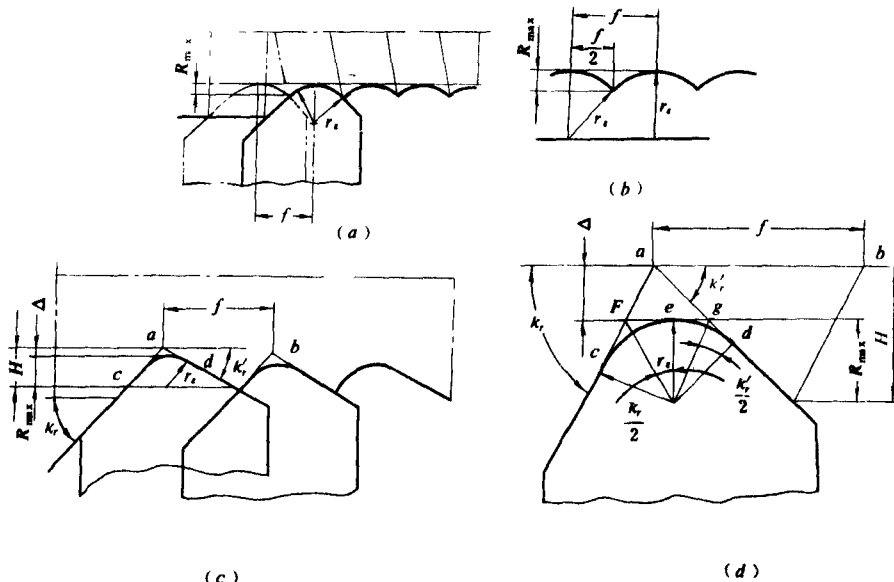


图 1-4 刀尖半径 $r_\epsilon > 0$ 残留面积高度

在用式 1-7 计算 R_{\max} 时, 若分子中第二项的值大于 f 时, 则应采用式 1-6 进行计算。

§ 1-2 金属切削过程的变形

本节研究切削过程的变形, 是在直角自由切削塑性材料的条件下进行的。所谓直角自由切

削,是指没有副刃参加切削,并且刃倾角 $\lambda=0$ 的切削方式,如图1-5(a)所示。而图1-5(b)所示为 $\lambda\neq 0$ 的切削方式称为斜角切削,图1-5(c)所示为不自由切削。

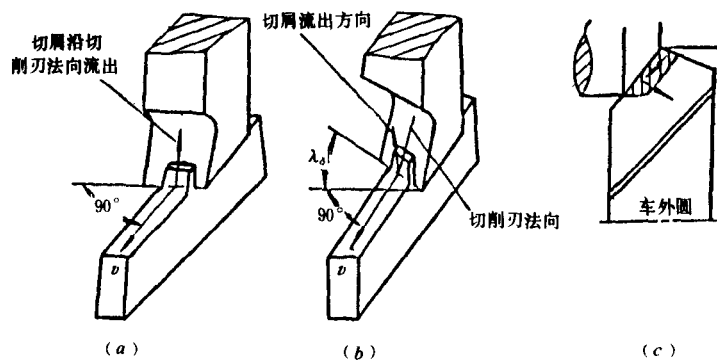


图1-5 直角、斜角自由切削与不自由切削

金属切削过程是指切屑和已加工表面的形成过程,即切削时,被切削的金属层在刀具的挤压和摩擦作用下产生变形,最后使之成为切屑与工件分离而获得已加工表面的过程。这一过程是很复杂的,会出现一系列的物理现象,如切削力、切削热、刀具磨损、已加工表面硬化和残余应力等。在加工中出现的一些现象如积屑瘤、振动等也都与切削过程的变形有关。上述一些现象将直接或间接地影响加工质量和劳动生产率。因而只有了解这些现象的本质和规律,才能合理地控制切削过程,以便保证加工质量和提高劳动生产率,降低生产成本,从而达到优质、高产、低消耗地生产的目的。

一、金属切削过程的变形

(一)基本概念

实验证明,切屑的形成与切离的过程,是切削层在受到前刀面的挤压而产生以滑移为主的塑性变形过程。这一滑移变形过程,实际上与金属的挤压过程很相似。图1-6所示为金属的挤压与金属切削对比示意图。

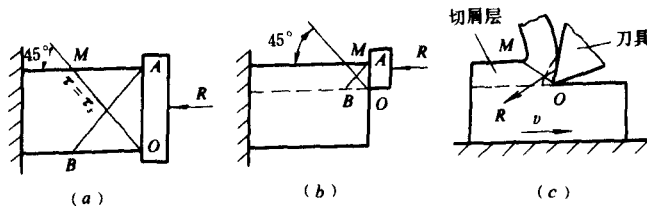


图1-6 金属的挤压与切削比较

1. 正挤压(图1-6a) 由材料力学可知,金属材料受到挤压时,材料内部产生主应力与剪应力。最大剪应力的方向大致与作用力方向成 45° ,如图1-6(a)所示,当剪应力达到材料的屈服强度时,即沿 OM 或 AB 面发生剪切滑移。 OM 、 AB 称为剪切面。

2. 偏挤压(图1-6b) 当试件上只有 OB 线以上的一部分金属受到挤压时, OB 以下的金属由于母体的阻碍,使金属不能沿 AB 滑移,而只能沿 OM 滑移。这种只有部分材料受挤压变形的情况称为偏挤压。

3. 切削加工的挤压(1-6c) 金属切削的挤压虽比材料挤压试验要复杂得多,但上述试

验结果仍可用于分析切削过程中的变形现象,如图 1-6(c)所示与偏挤压的情况相近似,即切削层在刀具的挤压作用下,首先产生弹性变形,随着刀具的不断挤压切入,金属内部的应力、应变不断增大,当应力达到材料屈服点时,便沿图 1-6(c)中的 OM 方向滑移而产生塑性变形,刀具再继续前进,切削层便沿 OM 方向滑移与母体脱离,成为切屑。根据实验测得滑移面 OM 与作用力方向的夹角约为 $40^\circ-50^\circ$ 。这与挤压试验的结果很接近。

(二)金属切削的变形过程

切削层在切削过程的变形情况可由切屑根(靠近刀尖前刀面的被切金属层及切屑)的金相照片(图 1-7a)来观察。从图可以看出,刀尖前面的金属晶格变成为沿某一方向倾斜的纤维状结构,即发生了很大的剪切变形,其剪切变形过程可用示意图(图 1-7b)来表示。当刀具前刀

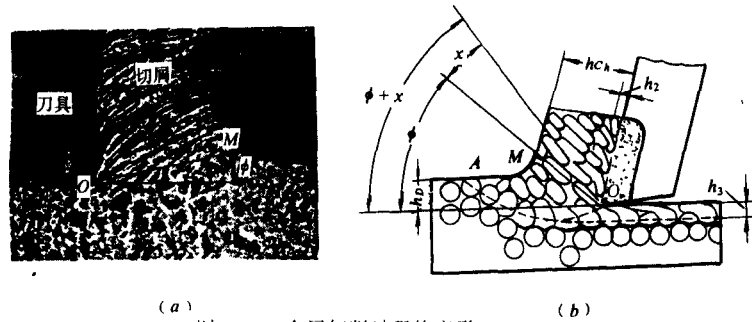


图 1-7 金属切削过程的变形

面推挤切削层时,在切削层内产生应力场,离切削刃愈近,应力愈大。在应力场中可以找到剪应力 τ 达到材料屈服强度 τ_s 的各点,连各点,可以得到曲线 OA 。由于此处 $\tau = \tau_s$,所以被切材料在 OA 线开始剪切滑移, OA 称为始滑移线。此后,当材料继续受挤压,则不断发生滑移,当到达 OM 线时,剪切应力达到材料的断裂强度,即沿 OM 方向挤裂而成为切屑。 OM 称为终滑移线。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。在一般速度范围内,这一变形区的宽度仅为 $0.02\sim 0.2\text{mm}$ 。切削速度愈高,宽度愈小,因此可以视为一个平面,称为剪切面。剪切面与切削速度方向之间的夹角以 ϕ 表示。称为剪切角(图 1-7b)。

(三)三个变形区的分析(图 1-8)

从图 1-7 还可看出,金属除在剪切区发生显著变形外,在切屑沿前刀面排出时进一步受到前刀面的挤压与摩擦,使紧靠前刀面处的金属晶格发生了显著的弯曲,并进一步纤维化,纤维方向基本上和前刀面平行。一般将剪切变形区称为第 I 变形区,其位置如图 1-8 中 I 所示;靠前刀面处的变形称为第 II 变形区,如图 1-8 中 II 所示,这个变形区主要集中在和前刀面接触的切屑底面一

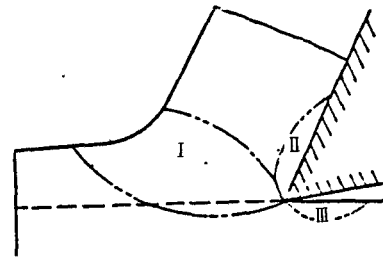


图 1-8 切削部位的三个变形区

薄层金属内。离前刀面愈远的金属层影响愈小,所以切削厚度较大时,第 II 变形区的影响相对小些,切削时出现的积屑瘤、前刀面磨损等现象,都是第 II 变形区变形所造成的。由图 1-7 还可看出,在已加工表面处也形成了显著的变形层 h_3 (晶格也发生了纤维化),这是已加工表面受到切削刃和后刀面的挤压和摩擦所造成的,这一部分称为第 III 变形区,如图 1-8 中 III 所示。这一变形区的变形是造成已加工表面硬化和残留应力的主要原因。

由于大部分塑性变形集中于第一变形区,因而切削变形的大小,主要由第一变形区来衡

量。

二、切屑类型与变形系数

(一)切屑类型

工件上的切削层受到刀具挤压后,产生剪切滑移变形变成切屑。由于工件材料性质、切削条件的不同,切削过程中的变形程度也就不同,因而产生的切屑形态、尺寸和颜色也就各不相同。从形态上看,可以分为以下四种类型,如图 1-9 所示。

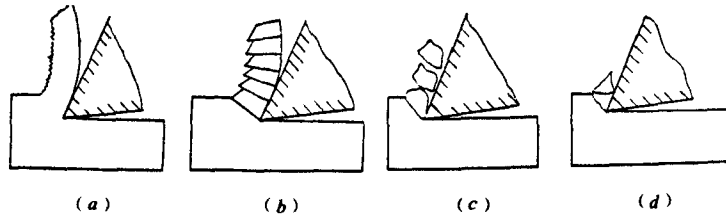


图 1-9 切屑类型

1. 带状切屑

1)形态:如图 1-9(a)所示,连续不断呈带状,其底面(与前刀面接触的面)光滑,背面呈毛茸状(剪切面的条纹痕迹)。

2)变形:第 I 变形区的剪切滑移尚未达到材料的断裂程度时,被切层金属即脱离工件母体成为切屑。第 II 变形区变形严重(切屑底面光滑是由于前刀面与切屑的挤压、摩擦变形所致)。

3)形成条件:一般加工塑性材料,切削速度较高,进给量 f 较小、刀具前角较大时,易出现带状切屑。

4)对加工的影响:切削过程比较平稳,切削力波动小,已加工表面粗糙度细(R_a 小)。但由于切屑连绵不断,易缠绕工件和刀具或流出伤人,影响工作,故当出现带状切屑时应设法断屑。

2. 挤裂切屑

1)形态:如图 1-9(b)所示,切屑底面(与刀具前刀面接触的面)光滑但有明显的裂纹,外表面(背面)呈锯齿状。这种切屑一小段即断开(呈 C 形节状),每个切屑单元界限明显。

2)变形:第 I 变形区在剪切滑移过程中滑移量较大,切屑形成时,局部地区剪切应力已达材料的断裂强度。

3)形成条件:加工塑性材料,切削速度较低,前角较小,进给量 f (或切削厚度)较大时,易出现这类切屑。

4)对加工的影响:出现挤裂切屑时,切削过程不够平稳,已加工表面的粗糙度变粗(R_a 变大)。

3. 单元切屑

1)形态:如图 1-9(c)所示,这类切屑为彼此之间无联系或联系很弱的梯形粒状的单元所组成。

2)变形:这类切屑形成过程中,第 I 变形区变形很大,整个剪切面上剪应力完全达到了材料的断裂强度,切屑以单元形式脱离母体,而形成单元切屑。

3)形成条件:当工件材料硬度较高而韧性较低(如淬火钢)及切削速度很低($v < 1-2\text{m/min}$)的情况下,易出现这类切屑。

4)对加工的影响:这类切屑变形程度大,切削力大并且波动很大,故加工很不平稳,使加工表面的粗糙度变粗(R_a 值大)。

4. 崩碎切屑

1)形态:如图 1-9(d)所示,这类切屑为不规则的块状颗粒。

2)变形:切削层内靠近切削刃和前刀面的局部金属未经塑性变形即挤裂或在拉应力下脆断(沿材料石墨集中的薄弱环节断裂)。

3)形成条件:工件材料硬脆(铸铁、青铜),刀具前角小,切削厚度大时,易出现这类切屑。

4)对加工的影响:切削过程有冲击,波动较大,切削力和热集中在刀尖刃口上,使刀具磨损加剧;切屑是以块状脱离母体,使已加工表面凹凸不平,因而表面粗糙度变粗(R_a 大),刀具易崩刃。

综上所述,切屑类型不但与工件材料有关,而且切削条件的变化也影响切削形态,如改变挤裂切屑的条件:进一步减小前角,减低切削速度或加大切削厚度,就可以得到单元切屑;反之,如加大前角,提高切削速度,减小切削厚度,就可得到带状切屑。这说明切屑的形态是可以随切削条件而转化的,掌握了它的变化规律,即可控制切屑的形态和尺寸,以利于断屑和排屑。

(二)变形系数

从上述分析可知,切屑形态的变化反映了切削变形程度的不同,如带状切屑是切削层沿剪切面滑移变形尚未达到断裂程度而形成的;挤裂切屑则是切削层沿剪切面滑移变形,局部达到断裂程度形成的;而单元切屑则是切削层沿剪切面滑移变形完全达到断裂程度而形成的,因而可以认为切屑形态是切削层变形的表现。但由于切削过程比较复杂,不能单凭切屑形态来判断变形量大小,而且仅从切屑形态不同也不能定量地说明变形程度,因此,为了定量地分析变形程度引入了切屑收缩与变形系数的概念。

1. 切屑的收缩(图 1-10) 实践表明,经过塑性变形后形成的切屑,其厚度(h_{ch})通常都要大于工件上切削层的厚度(h_D),而切屑长度(L_{ch})通常小于切削层长度(L_c),参看图 1-10。切屑这种厚度变大,长度变短的现象叫切屑的收缩,它反映出切削过程切削层的变形程度。

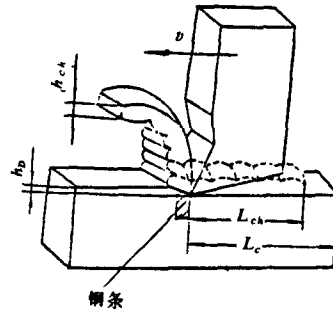


图 1-10 切屑与切削层尺寸

2. 变形系数 切屑收缩程度用变形系数来定量地表达,即变形程度可用变形系数来表达。

1)厚度变形系数:切屑厚度 h_{ch} 和切削层厚度 h_D 之比称为厚度变形系数 Δ_h ,记作

$$\Delta_h = \frac{h_{ch}}{h_D} > 1 \quad (1-8)$$

2)长度变形系数:切削层长度 L_c 与切屑长度 L_{ch} 之比,称为长度变形系数 Δ_L ,记作

$$\Delta_L = \frac{L_c}{L_{ch}} > 1 \quad (1-9)$$

由实验得知,切屑宽度与切削层宽度基本相同(变化很小),根据材料体积不变原理,可证明:

$$\Delta_L = \Delta_h > 1 \quad (1-10)$$

变形系数 Δ 是大于 1 的数,在原苏联叫做“收缩系数”,在英美则以 $\frac{h_D}{h_{ch}} = \frac{L_{ch}}{L_c} = r_c$ 表示,称为

“切削比”。切削比为变形系数的倒数。

变形系数 Δ_h 直观地反映了切屑变形程度,并且比较容易测量,是研究切削过程变形的简便方法,但比较粗略,有时不能反映剪切变形的真实情况,因而有必要研究更加精确的标志方法。

(三)相对滑移(图 1-11)

切削过程中金属的变形主要是剪切滑移,所以用相对滑移的大小来标志变形程度要比变形系数精确些。如图 1-11 所示,假定平行四边形 $OHNM$ 发生剪切变形后,变为 $OGPM$,则其相对滑移变形 ϵ 为

$$\epsilon = \frac{\Delta s}{\Delta Y}$$

将图 1-11 所示几何关系代入,可导出

$$\epsilon = \text{ctg}\Phi + \text{tg}(\Phi - \gamma_0) = \frac{\cos\gamma_0}{\sin\Phi \cos(\Phi - \gamma_0)} \quad (1-11)$$

由关系式 1-11 可知,剪切角 Φ 及前角愈小,剪切变形量愈大。

按这种方法表示切削层变形程度时,必须首先制取切屑根部的金相照片(图 1-7),从照片上量出剪切角 Φ ,与前角 γ_0 一起代入式(1-11),才能求出相对滑移量。关于剪切角 Φ 虽然有许多学者研究出若干理论推导公式,但计算出的结果与实验并不一致,所以目前仍以实验方法来确定剪切角 Φ 。

(四)变形系数与相对滑移的关系

图 1-12 所示为被切层材料转变为切屑时的几何关系,由变形系数 Δ_h 的定义及图示几何关系可得:

$$\Delta_h = \frac{h_{ch}}{h_D} = \frac{OM \cos(\Phi - \gamma_0)}{OM \sin\Phi}$$

化简

$$\text{tg}\Phi = \frac{\cos\gamma_0}{\Delta_h - \sin\gamma_0} \quad (1-12)$$

将式(1-12)代入(1-11)可得变形系数 Δ_h 与滑移变形 ϵ 的关系为

$$\epsilon = \frac{\Delta_h^2 - 2\Delta_h \sin\gamma_0 + 1}{\Delta_h \cos\gamma_0} \quad (1-13)$$

当 $\gamma_0 = 0 \sim 30^\circ$, $\Delta_h \geq 1.5$ 时, Δ_h 的值与 ϵ 相近,当 $\gamma_0 < 0^\circ$ 或 $\Delta_h < 1.5$ 时,则不能用 Δ_h 来表示切削层的变形。

由推导过程可知,相对滑移是根据纯剪切变形推出的,所以它主要反映第 I 变形区的变形情况,而变形系数则反映切屑变形的综合结果,特别是包含有第二变形区(切屑与前刀面)变形的影响。

三、切屑与前刀面的摩擦变形

切屑沿前刀面流出过程中,受到挤压和剧烈摩擦,使切屑底层产生严重塑性变形,图 1-7 (b)所示厚度 h_2 为严重变形层的纤维被拉长情况,它的厚度约为切屑厚度的 1/10 左右。第 II

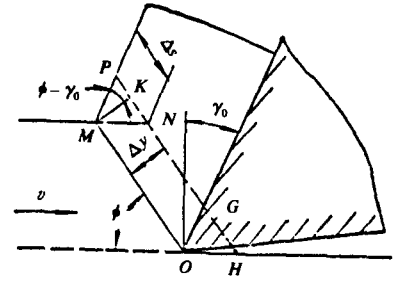


图 1-11 相对滑移变形示意图

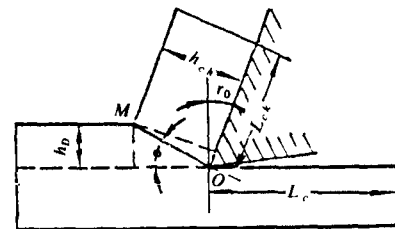


图 1-12 切削层与切屑的几何关系

变形区主要是指该塑性变形层。

(一)切屑与前刀面间的摩擦特点

切屑与前刀面的摩擦与一般金属接触面间的摩擦不同,因为切屑与前刀面之间的压力很大(可达 $1.96-2.94\text{GPa}$ ($200-300\text{kg/mm}^2$)以上),再加上几百度的高温,致使切屑底面与前刀面发生粘结现象。在粘结情况下,切屑与前刀面之间就不是一般的外摩擦,而是切屑粘结部分和上层金属之间的摩擦,即切屑的内摩擦,所以切屑与刀具前刀面的摩擦不但有外摩擦而且更重要的是内摩擦。根据摩擦情况不同,切屑与前刀面接触部分可分为两个摩擦区,如图 1-13 所示分粘结区和滑动区。

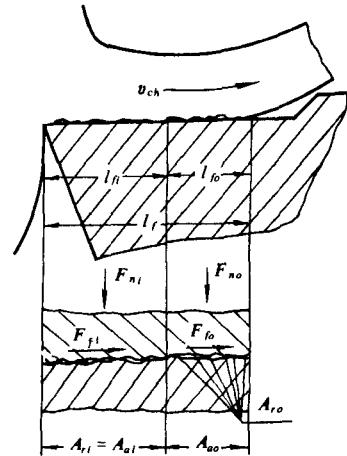


图 1-13 切屑与前刀面摩擦情况

(二)摩擦情况

1. 粘结区 图 1-13 所示的近切削刃处长度为 L_{fi} 的范围内,由于高温与高压,使切屑底层软化粘嵌在前刀面上高低不平的凹坑中而形成粘结区,粘结面间相对滑动而产生的摩擦称为内摩擦,它与外摩擦的规律不同,外摩擦力的大小只与摩擦系数及压力有关,而与接触面积无关,而内摩擦实际就是金属内部的滑移剪切,同粘结面积有关。这部分的摩擦力 F_{fi} 约占切屑与前刀面总摩擦力的 85%。

2. 滑动区 指切屑即将脱离前刀面时在 L_{fo} 长度内的接触区(见图 1-13)。在该区内切屑与前刀面间只是突出的金属 A_{fo} 接触,称为滑动区,属外摩擦,其摩擦力可应用库仑定律计算。

由上述分析可知,切屑与前刀面粘结区的摩擦是第二变形区变形的重要成因,也是形成积屑瘤的主要原因。

四、已加工表面的变形

(一)已加工表面变形的原因

任何切削刃的刃口都不可能是绝对锋利的,总存在着刃口圆弧,如图 1-14(a)所示,刃口圆弧半径为 r_ρ 。切削时由于刃口圆弧的挤压和摩擦作用,使刃口前方切削层内出现了复杂的塑性变形区域,并在近刃口的已加工表面金属层内形成了第 III 变形区。

(二)变形情况

圆弧刃口在切削时起到切削与挤压两个作用。如图 1-14(a)所示以 A 点为分界线,在 A 点前方的金属晶格发生两个方向滑移的可能性。其中一部分(A 点以上)沿前刀面流出形成切屑,另一部分(A 点以下的圆弧刃口 \widehat{AC} 部分的切削层) Δh_b 则被挤压留在加工表面上,这层金属被刃口挤压后,还继续受到后刀面上小棱面 CE 的摩擦及由弹性恢复原因形成的复原层 Δh 引起的接触面 EF 造成的挤压与摩擦,使已加工表面变形更剧烈(见图 1-7(b)所示的 h_3)。

(三)应力分布情况

图 1-14(b)所示为刃口前区内应力分布示意图。 A 点正前方正应力 σ_n 最大、剪应力 τ 为零; A 点两侧 σ_n 逐渐减小、剪应力 τ 逐渐增大,继后减小,根据应力情况也表明第 III 变形区内既有摩擦变形也有挤压变形。

已加工表面的变形是造成加工表面硬化和残留应力的主要原因。

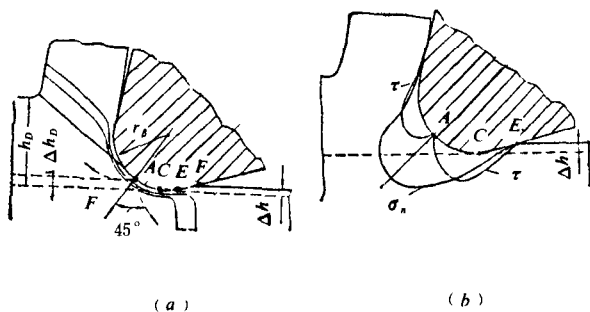


图 1-14 已加工表面的变形

§ 1-3 金属切削过程的物理现象

由于切削过程实际是切削部位切削层的变形过程,因而伴随出现了一些与变形有关的物理现象,如切削力、切削热、积屑瘤和表面硬化及残留应力等,这些现象对刀具的磨损和加工质量都有直接影响。

一、切削力

切削过程中,被切层变为切屑,需克服工件材料所产生的阻(抗)力,这些阻(抗)力称为切削力。切削力使机床、夹具、刀具都受到力的作用,是验算机床功率、设计刀具和夹具的重要依据;也是影响加工质量的重要因素,所以切削力是切削过程的重要物理现象。

(一) 切削力的来源、合力及其分力

1. 切削力的来源 切削时作用在刀具上的力,由以下两个方面组成:

- 1) 三个变形区内产生的弹性变形抗力和塑性变形抗力;
- 2) 切屑、工件与刀具间的摩擦力。

2. 切削力的合力与分解

1) 作用在刀具上的力及其合成(图 1-15)

(1) 作用在前刀面上的力:如图 1-15 所示, $F_{\gamma n}$ 为作用在前刀面的正压力; F_{γ} 为作用在前刀面上的摩擦力, $F_{\gamma, \gamma n}$ 为作用在前刀面上的合力。

(2) 作用在后刀面上的力: F_m 为作用在后面的正压力; F_o 为作用在后刀面的上摩擦力 $F_{o, m}$ 则为作用在后刀面上的合力。

(3) 作用在刀具的合力 F , 它是由前刀面的合力 $F_{\gamma, \gamma n}$ 及作用在后刀面的合力 $F_{o, m}$ 合成的。

2) 切削力的分解: 由于作用在刀具上的切削力合力 F 是一个大小、方向不易测量的力,而且无实用价值,为了便于测量和研究,以及为了在生产中能适应机床、刀具、夹具

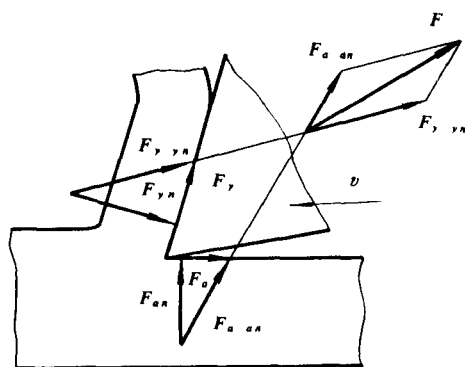


图 1-15 作用在刀具上的切削力

等设计和使用的需要,故将切削合力 F 分解为互相垂直的三个分力(图 1-16)。

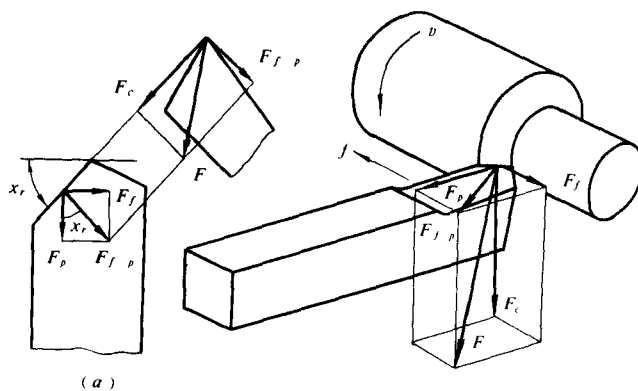


图 1-16 切削力的分解

(1)主切削力 F_c (切向力):主切削力 F_c 垂直于基面,与切削速度方向一致,作用于工件切线方向,故又称切向力,是计算机床功率及设计夹具、刀具的主要依据。

(2)吃刀抗力 F_p (径向力):吃刀抗力 F_p 位于基面内,与进给方向垂直,作用于工件半径方向(又称径向力)并与切深方向一致(也叫切深抗力)。它可能引起工件的弯曲与振动,影响加工质量(造成形状误差)。

(3)进给抗力 F_f (轴向力):进给抗力 F_f 位于基面内,与进给方向一致,作用于工件的轴向(故又名轴向力)。它作用于机床进给机构,该力是设计和校验机床进给机构强度的依据。

3. 合力与分力的关系 用实验仪器可测出上述三个分力的数值,合力的大小(数值)可由图 1-16 所示的力系,推出以下的关系式:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (1-14)$$

$$F_p = F_{f,p} \cos k_r; F_f = F_{f,p} \sin k_r$$

式中, $F_{f,p}$ 是合力 F 在基面上的投影。

一般情况下,主切削力 F_c 最大, F_p 及 F_f 小一些,随着刀具几何参数与切削用量的不同, F_p 与 F_f 相对 F_c 的比值在很大范围内变化。通常, $F_p = (0.15 \sim 0.7)F_c$; $F_f = (0.1 \sim 0.6)F_c$ 。

(二)切削力实验公式与切削功率

由于切削变形复杂,用材料力学、弹性、塑性变形理论推导的计算切削力公式与实际差距很大,故在实际生产中切削力的大小常由实验公式进行计算。

1. 实验公式 实验公式是以切削深度 a_p 和进给量 f 为变量,其他影响因素固定不变(即在一定的实验条件下),利用测力仪测出切削力的大小,绘出 a_p 、 f 的实验曲线,加以适当处理,得出实验公式,其形式为

$$\begin{aligned} F_c &= C_{F_c} \cdot a_p^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \cdot K_{F_c} \quad (\text{N}) \\ F_p &= C_{F_p} \cdot a_p^{X_{F_p}} \cdot f^{Y_{F_p}} \cdot K_{F_p} \quad \text{N} \\ F_f &= C_{F_f} \cdot a_p^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} \cdot K_{F_f} \quad \text{N} \end{aligned} \quad (1-15)$$

式中 $C_{F_c}, C_{F_p}, C_{F_f}$ ——与工件材料,刀具材料有关的系数(见表 1-1);

$X_{F_c}, X_{F_p}, X_{F_f}$ ——切削深度 a_p 对切削力影响的指数(见表 1-1);