



木材切削原理与刀具

MUCAI QIEXIAO YUANLI YU DAOJU

主 编 贾 娜
副主编 刘 诚 冯 琪
主 审 花 军



东北林业大学出版社

木材切削原理与刀具

MUCAI QIEXIAO YUANLI YU DAOJU

主 编	贾 娜		
副主编	刘 诚	冯 琪	
主 审	花 军		

东北林业大学出版社

版权专有 侵权必究

举报电话：0451 - 82113295

图书在版编目 (CIP) 数据

木材切削原理与刀具 / 贾娜主编. — 哈尔滨 :
东北林业大学出版社, 2013. 7

(东北林业大学优秀教材丛书)

ISBN 978 - 7 - 5674 - 0265 - 2

I. ①木… II. ①贾… III. ①木材切削-高等学校-
教材②木材切削-木工刀具-高等学校-教材

IV. ①TS654②TS643

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 169914 号

责任编辑：杨秋华

封面设计：刘长友

出版发行：东北林业大学出版社

(哈尔滨市香坊区哈平六道街 6 号 邮编：150040)

经 销：全国新华书店

印 装：哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本：787mm × 960mm 1/16

印 张：14.25

字 数：263 千字

版 次：2013 年 7 月第 1 版

印 次：2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价：28.00 元

前 言

木材切削是木制品成型的主要加工方法，利用各种刀具对木质工件进行锯切、旋切、刨削、铣削、钻削和砂光可以将木质原料加工成产品。木工刀具作为木材切削加工中的重要工艺装备，对木质产品的加工机床设计、加工效率、加工精度和成本有着重要的影响。近年来，我国木制品加工行业发展迅速，对熟悉木制品生产装备设计的技术人员的需求逐渐扩大，全国高等农林院校相继开设了相关的专业，为了满足教学的需要，编者根据木材切削原理与刀具专业教学大纲的要求，在2005年版《木材切削与木工刀具》的基础上编写了《木材切削原理与刀具》。

《木材切削原理与刀具》主要是针对机械设计制造及其自动化专业而编写的教学用书，对木材科学与工程专业内容适当进行调整，也可作为相关生产企业工程技术人员的参考用书。

本书由东北林业大学贾娜编写第1章、第2章、第3章，刘诚编写第4章、第5章，冯琪编写第6章、第7章；由东北林业大学花军主审，东北林业大学硕士研究生宋杰对书中的图、表进行了修订。在此，对大家的辛勤工作表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中疏漏在所难免，欢迎各位读者批评指正。

贾 娜
2012 年 10 月

目 录

1 木材切削的基本概念	(1)
1.1 木材切削与切削运动	(1)
1.2 刀具切削部分的基本定义	(3)
1.3 刀具的角度	(4)
1.4 切削层尺寸参数与切削类型	(7)
2 木材切削的基本规律	(11)
2.1 木材切削过程及变形	(11)
2.2 三种主要切削方向的切屑类型	(12)
2.3 切削力	(16)
2.4 刀具的磨损和耐用度	(27)
3 锯切与锯	(32)
3.1 锯齿的切削	(32)
3.2 锯切运动学	(35)
3.3 锯切力和功率	(39)
3.4 锯齿的切削性能	(44)
3.5 带锯条	(51)
3.6 圆锯片	(59)
3.7 锯的修磨	(76)
4 铣 削	(83)
4.1 铣削运动学	(84)
4.2 铣削力和功率计算	(90)
4.3 影响铣削表面质量的主要因素	(100)
4.4 铣刀的分类及设计	(105)
4.5 整体套装铣刀	(118)
4.6 组合铣刀	(122)
4.7 装配式套装铣刀	(131)
4.8 柄 铣 刀	(145)
5 旋切和旋刀	(165)
5.1 旋切原理	(165)

2 木材切削原理与刀具

5.2	无卡轴及多刀旋切	(180)
5.3	旋切力和功率	(181)
5.4	单板加工质量	(182)
5.5	旋刀和压尺	(184)
6	钻削与钻头	(187)
6.1	钻头的结构及钻削种类	(187)
6.2	钻削运动学	(189)
6.3	钻削力和功率	(192)
6.4	钻削质量	(195)
6.5	钻头的类型、结构和应用	(199)
6.6	钻头的刃磨	(206)
7	木工刀具材料	(209)
7.1	木工刀具常用材料及其合理选择	(209)
7.2	涂层刀具	(216)
7.3	其他刀具材料	(217)
7.4	刀具材料的发展	(219)
参考文献		(221)

1 木材切削的基本概念

木材切削原理及刀具作为一门科学,有很多基本概念、基本规律和基础知识需要掌握和研究,对这些基本概念的准确掌握,是学习该门知识的重要基础。

木材切削加工方法很多,有锯切、铣削、旋切、钻削、磨削等。根据所用刀具或刀具与工件相对运动的特点,每种切削方式都具有其特殊的切削规律,本章主要讨论木材切削中的共性问题,如木材切削的基本术语、基本概念和一般规律,这是木材切削原理和木工刀具研究的理论基础。

1.1 木材切削与切削运动

通过刀具作用于木材产生相对运动,以获取一定形状、尺寸和表面粗糙度的木材制品的加工过程叫做木材切削,它是木材加工中占比重最大的一项基本工艺过程,其加工质量对木制品的胶合工艺和表面装饰工艺有重要影响,被加工木材称为工件,被切下的切削层称为切屑。

木材切削过程实质上就是将被加工木材按预定轨迹分为两部分,根据切削过程中制品与切屑形式的不同,木材切削可分为3种形式:工件是产品,切屑是加工剩余物,大多数木制品加工都是这种形式,如锯切、铣削、磨削和钻削等;少数情况,切屑就是制品,如单板旋切和刨切;而在削片制材过程中,被切下的切屑和留下的木材均为制品。

要顺利完成木材切削,刀具与工件之间必须有相对运动,这种相对运动叫做切削运动。切削运动按其作用不同,可分为主运动和进给运动。

1.1.1 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,从而使刀具接近工件,即从工件上切除切屑,形成新表面所需的最基本运动称为主运动。主运动可以是直线运动,如图1-1(a)所示的刨削,刨刀片的水平移动即主运动;也可以是旋转运动,如图1-1(b)所示的铣削,铣刀的旋转运动即主运动。

主运动只有一个,其特征是消耗功率最大。

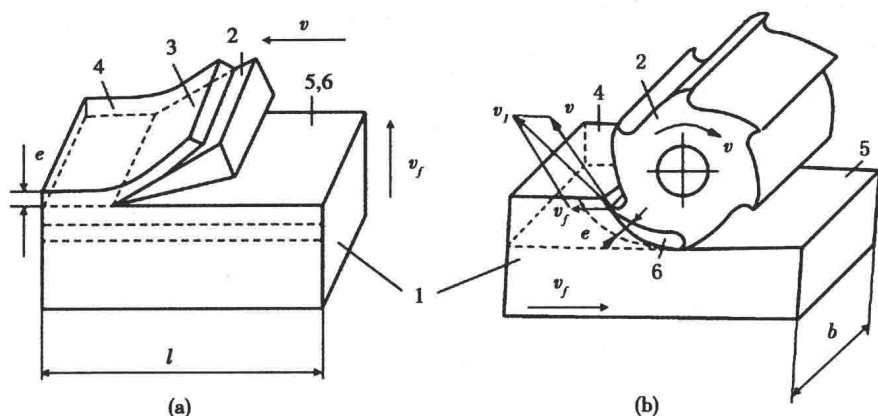


图 1-1 刨削和铣削原理

(a) 刨削; (b) 铣削

1. 工件; 2. 刀具; 3. 切屑; 4. 待加工表面; 5. 已加工表面; 6. 加工表面

l. 切屑名义长度; b. 切屑名义宽度; e. 切屑名义厚度

由于切削刃上各点的主运动速度的大小和方向不一定相同, 因此为了便于分析问题, 通常选取某一合适点来分析其运动, 将该点称为选定点。

主运动速度的大小, 用切削速度 v 来表征, 是指切削刃上选定点相对于主运动的瞬时速度, 单位通常为 m/s 。

1.1.2 进给运动

进给运动是指由机床或人提供的运动, 它使刀具与工件之间产生附加的相对运动, 加上主运动, 即可连续地切除切屑, 并得出具有所需几何特性的已加工表面, 使切屑连续或逐步从工件上切下所需的运动。如图 1-1 中木材的垂直向上移动、木材的水平移动, 都是进给运动。

进给运动速度的大小用进给速度 v_f 来表征, 是切削刃上选定点相对于进给运动的瞬时速度, 常用单位为 m/min 。

进给运动速度的大小还可以用不同形式的进给量表示:

每转进给量 f_n ——刀具在进给运动方向上相对工件的位移量, 可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量, mm/r ; 若用每转的位移量来表征, 则可称为每转进给量。

每齿进给量 f_z ——多齿刀具每转或每行程中每齿相对工件在进给运动方向上的位移量, mm/z 。

根据上述定义可知, 进给速度和每转进给量、每齿进给量之间有如下关系:

$$v_f = \frac{f_n \cdot n}{1\,000} = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1\,000} (\text{m/min})$$

式中： z ——齿数或刀数。

1.1.3 合成切削运动

切削运动是主运动和进给运动的合成运动。切削运动的大小用切削速度 v_c 来表征，指切削刃选定点相对工件的合成切削运动的瞬时速度。速度主运动和进给运动同时进行，如带锯锯切和铣削加工，其切削运动速度 v_c 是主运动速度 v 和进给运动速度 v_f 的矢量和，即

$$v_c = v + v_f$$

当主运动和进给运动不同时进行时，如刨削和刮削加工，其主运动就是切削运动。在木材切削过程中，因为主运动速度一般都远远大于进给运动速度，所以通常可以用主运动速度的大小和方向代替切削运动速度的大小和方向。

1.2 刀具切削部分的基本定义

1.2.1 工件的表面

在木材切削加工过程中，工件存在三个表面，如图 1-1 所示。

①待加工表面：工件上即将切去切屑的表面。

②已加工表面：工件上经刀具切削后产生的表面。

③过渡表面：工件上由切削刃正在形成的那部分表面。它在下一切削行程，刀具或工件的下一转里被切除，或者由下一切削刃切除。

这三个表面具有如下特点：在切削过程中，随刀具相对工件的运动而变化；在有的加工方式中，已加工表面和加工表面重合。

1.2.2 刀具切削部分组成

木工刀具的种类繁多，功能、形状各异，但无论什么样的刀具，都具有直接参与木材加工的切削部分和起支撑作用的刀体。仔细观察各种刀具的切削部分后发现，切削部分的形状都很相似，都像一个“楔形体”，被称为切刀。楔形切刀由以下主要部分组成。

①前刀面 (A_f)：在切削过程中，面对切屑的刀具表面，如图 1-2 中的 $abcd$ 面。

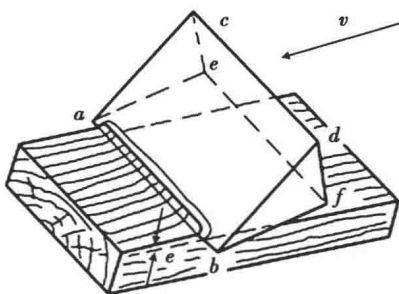


图 1-2 切刀的组成部分

②后刀面 (A_a): 在切削过程中, 面对加工表面的刀具表面, 如图 1-2 中的 $abef$ 面。

③侧刀面: 位于前刀面和后刀面两侧的刀具表面, 如图 1-2 中的 ace 面和 bdf 面。

④切削刃: 前刀面与后刀面相交的棱边, 如图 1-2 中的 ab 线。切削刃是主要参与切削的部分。在有些情况下, 前刀面与侧刀面相交的棱边也参加切削, 因此为了便于区别, 通常将前者称为主切削刃 (S), 后者称为侧刃 (S')。

1.3 刀具的角度

刀具相对木材需要具备一定的空间位置才能顺利完成切削, 此空间位置的描述称为刀具角度。楔形切刀本身只有前、后刀面之间的夹角可以在切刀上直接测量, 而影响切削过程的其他刀具角度则需要借助参考系加以确定。参考系是用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面。根据参考系功用的不同, 可分为刀具静止参考系和工作参考系。

刀具静止参考系是用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量时几何参数的参考系, 在静止参考系下定义的刀具角度称为标注角度 (或刃磨角度); 而用于定义刀具进行切削加工时几何参数的参考系称为刀具工作参考系, 在此参考系下定义的刀具角度称为工作角度。

1.3.1 刀具静止参考系下的角度

以刀具静止参考系为例, 说明刀具角度设计的定义。为了便于反映刀具的几何属性在切削过程中的功能, 一般选取以下两个坐标平面作为参考平面。

1.3.1.1 参考平面

切削平面 (P_s): 通过切削刃上的某一点, 与加工表面相切的平面, 即切削速度方向与切削刃的切线所构成的平面, 见图 1-3 中的 CC 平面。

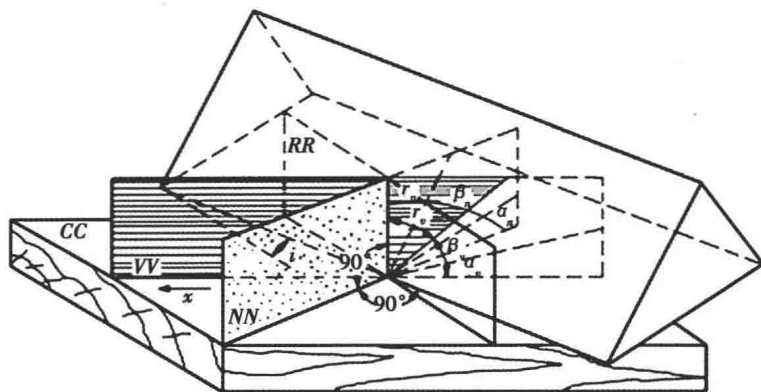


图 1-3 坐标平面、测量平面以及切刀的角度

基面 (P_r): 通过切削刃上的某一点, 垂直于切削速度方向的平面, 见图 1-3 中的 RR 平面。

在上述坐标平面中测量刀具角度时, 角度的大小随测量平面相对于切削刃的位置不同而异, 因此还需要规定统一的测量平面。木材切削原理和刀具规定主截面和法截面为测量平面。

1.3.1.2 测量平面

正交平面 (P_o): 垂直于切削刃在基面上投影的平面, 即与切削速度方向平行, 与基面和切削平面相垂直的平面, 见图 1-3 中的 VV 平面。

法截面 (P_n): 通过切削刃上的某一点, 与切削刃垂直的平面, 见图 1-3 中的 NN 平面。

1.3.1.3 切刀的角度参数

切刀的角度参数见图 1-3。

前角 γ : 前刀面和基面之间的夹角, 前角表示前刀面相对基面的倾斜程度, 当前刀面与基面重合时, 前角为零; 若以基面为基准, 前刀面相对基面顺时针方向倾斜, 前角为“+”; 前刀面相对基面逆时针方向倾斜, 前角为“-”。

后角 α : 后刀面和切削平面之间的夹角, 表示后刀面相对切削平面的倾斜程度。当后刀面与切削平面重合时, 后角为零; 若以切削平面为基准, 后刀面相对切削平面逆时针方向倾斜, 后角为“-”, 反之, 后角为“+”。

楔角 β ：前刀面和后刀面之间的夹角，表示切削部分的锐利程度和强度。

切削角 δ ：前刀面和切削平面之间的夹角，表示前刀面相对切削平面的倾斜程度。切削角对切削过程的影响与楔角和后角之和相同，与前角是互为余角关系，因而用切削角来表示刀具角度参数后，就无需前角来表示了。

根据上述各角度参数的定义，可得如下关系式：

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$$

$$\delta = \beta + \alpha = 90^\circ - \gamma$$

若测量平面为主截面，上述各角度参数分别称为主面前角（ γ_o ）、主面后角（ α_o ）、主面楔角（ β_o ）和主面切削角（ δ_o ）。若测量平面为法截面，上述各角度参数分别称为法面前角（ γ_n ）、法面后角（ α_n ）、法面楔角（ β_n ）和法面切削角（ δ_n ）。

1.3.2 刀具工作角度

切削过程中的实际切削平面和基面表示的角度参数又称为工作角。主运动和进给运动同时进行的切削方式，在设计和刃磨刀具时，很难确定主运动速度和进给运动速度的大小，因此切削运动速度方向也无法确定。带锯锯切时的工作角和标注角如图1-4所示，其中 α_e 、 γ_e 为工作角； α_o 、 γ_o 为标注角。由于主运动速度相对于切削运动速度偏离了 α_m 角，因此实际的工作后

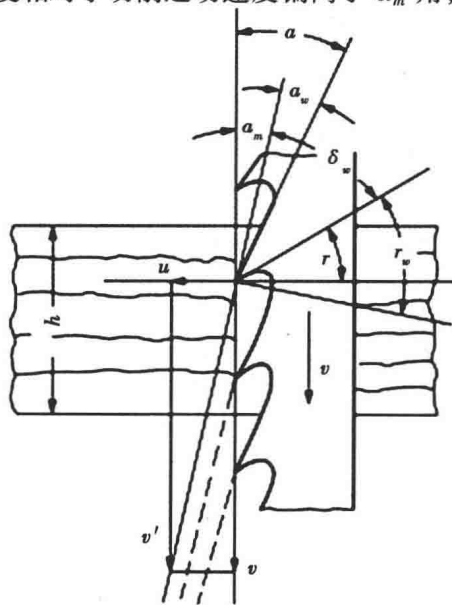


图1-4 带锯锯切时的工作角和标注角

角为

$$\alpha_e = \alpha_o - \alpha_m$$

$$\alpha_m = \arctan \frac{v}{v_e}$$

式中： α_m ——运动后角，即主运动方向和切削运动方向之间的夹角。

对于大多数的木材切削情况，主运动速度在数值和方向上都非常接近切削运动速度，运动后角 α_m 一般都小于 1° ，因而可以用标注角近似代替工作角。

1.4 切削层尺寸参数与切削类型

1.4.1 切削层尺寸参数

由切削部分的一个单一动作（或指切削部分切过工件的一个单程，或只产生一圈过渡表面的动作）所切除的工件材料层称为切削层。

在切削过程中，由于切屑产生弯曲、剪切和压缩变形，且形状复杂，其实际尺寸参数很难测量，通常用切削层参数来表征切屑的尺寸，如图 1-1 所示。切削层的尺寸参数，是指切屑厚度 e 、切屑宽度 b 和切削面积 A 。它们能反映切屑几何形状，并影响刀具的受力。

切屑厚度 e ：切削刃相邻两个切削轨迹间的垂直距离（或相邻两加工表面间的垂直距离），mm。

切屑宽度 b ：切削层在基面内的公称宽度，mm。

切屑的横截面积 A ：切削层在基面内的公称横截面积（ mm^2 ），等于切屑厚度 e 和切屑宽度 b 的乘积，用下式表达：

$$A = e \cdot b$$

切削时，切屑沿长度方向被压缩，因此切屑长度小于切屑的实际长度；而切屑在厚度方向和宽度方向上产生膨胀，因此切屑厚度和宽度都大于切屑的实际厚度和宽度。

1.4.2 木材切削的类型

木材切削有多种分类方法，下面介绍几种主要的分类方法。

1.4.2.1 按相对于纤维方向的切削方向来分类

木材是具有纤维的各向异性材料，在研究木材切削时，必须考虑纤维方向对切削过程的影响。纤维方向可用纤维倾斜角和木纹倾斜角来表示，如图

1-5 所示。

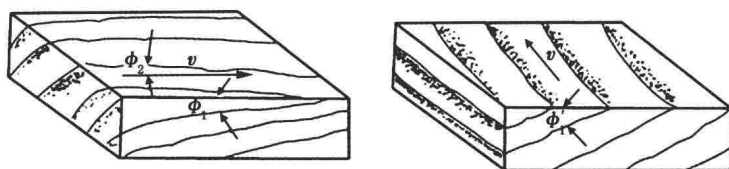


图 1-5 纤维倾斜角和木纹倾斜角

纤维倾斜角 Φ_1 和 Φ_1' : 纤维方向与切削平面之间的夹角。 Φ_1 是在主截面上测量的, Φ_1' 是在基面上测量的。

木纹倾斜角 Φ_2 : 在切削平面内, 切削方向与纤维方向之间的夹角。

按相对于纤维方向的切削方向的不同, 木材切削分为三个主要切削方向和三个过渡切削方向。

(1) 主要切削方向

①纵向切削 (//): 切削刃垂直于纤维方向, 并且刀具或工件的运动方向平行于纤维长度方向的切削, 称为纵向切削。图 1-6 中的 3 和 4 分别表示在弦切面和径切面上的纵向切削。纵向切削时, 切削刃与纤维方向之间的夹角为 90° , 刀具或工件的运动方向与纤维方向之间的夹角为 0° , 此时 $\Phi_1 = \Phi_2 = 0^\circ$ 。

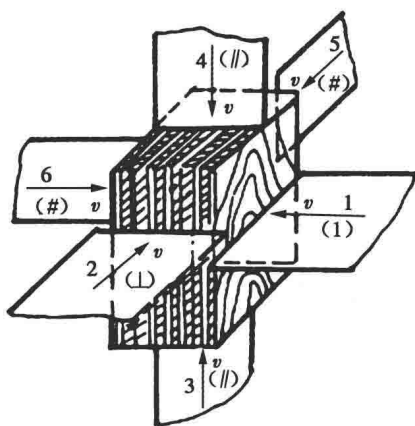


图 1-6 三个主要切削方向

②横向切削 (#): 切削刃平行于纤维长度方向, 并且刀具或工件的运动方向垂直于纤维长度方向的切削, 称为横向切削。图 1-6 中的 5 和 6 分别表示在弦切面和径切面上的横向切削。横向切削时, 切削刃与纤维方向之

间的夹角为 0° ，刀具或工件的运动方向与纤维方向之间的夹角为 90° ，此时 $\Phi'_1 = 0^\circ$ ， $\Phi_2 = 90^\circ$ 。

③端向切削 ($\perp$)：切削刃和刀具或工件的运动方向均垂直于纤维长度方向的切削，称为端向切削。图 1-6 中的 1 和 2 分别表示在横切面上垂直于年轮和平行于年轮的端向切削。端向切削时，切削刃与纤维方向之间的夹角为 90° ，刀具或工件的运动方向与纤维方向之间的夹角也为 90° ，此时 $\Phi_1 = 90^\circ$ ， $\Phi'_1 = 90^\circ$ 。

(2) 过渡切削方向

①纵端向切削 ($//-\perp$)：纵向切削和端向切削之间的过渡切削称为纵端向切削，如图 1-7 (a) 所示。纵端向顺纹切削时， $0^\circ < \Phi_1 < 90^\circ$ ；纵端向逆纹切削时， $90^\circ < \Phi_1 < 180^\circ$ 。

②横端向切削 ($\#-\perp$)：横向切削和端向切削之间的过渡切削称为横端向切削，如图 1-7 (b) 所示。横端向切削时， $0^\circ < \Phi'_1 < 90^\circ$ 。

③纵横向切削 ($//-\#$)：纵向切削和横向切削之间的过渡切削，称为纵横向切削，如图 1-7 (c) 所示。纵横向切削时， $0^\circ < \Phi_2 < 90^\circ$ 。

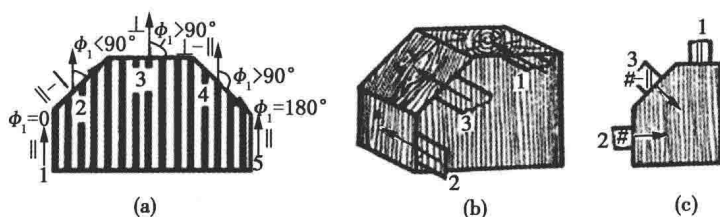


图 1-7 木材的过渡切削方向

(a) 纵端向切削；(b) 横端向切削；(c) 纵横向切削

1.4.2.2 按切刀在切削过程中的自由度来分类

按切刀在切削过程中的自由度，木材切削可分为开式切削、半开式切削和闭式切削。在切削过程中，只形成一个加工表面的切削称为开式切削。开式切削时，切刀只有主切削刃参加切削，如刨削、平刨与压刨的铣削等。在切削过程中，同时形成两个加工表面的切削称为半开式切削，如图 1-8 所示。在切削过程中，同时形成三个加工表面，或者内圆柱表面的切削，称为闭式切削，如锯切、钻削等。

1.4.2.3 按切削刃和切削方向的关系来分类

按切削刃和切削方向的关系，木材切削可分为两种类型：直角切削和斜角切削，如图 1-9 所示。刀具切削刃的切线垂直于切削方向的切削称为直角切削。刀具切削刃的切线不垂直于切削方向的切削称为斜角切削。在切削

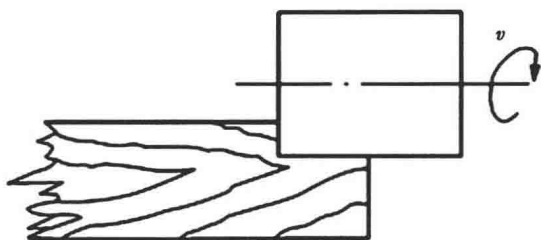


图 1-8 半开式切削

过程中，斜角切削产生的某些物理现象与直角切削不同，在横向切削时，采用斜角切削方式可以明显提高加工质量。这两种切削方式在生产中都有广泛应用。

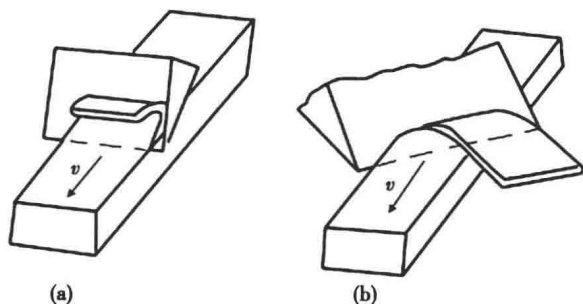


图 1-9 直角切削和斜角切削

(a) 直角切削；(b) 斜角切削

当刀具的主运动轨迹为直线、切削方式为直角并为开式切削时，称为基本切削；不满足上述条件的称为复杂切削。

2 木材切削的基本规律

在木材切削加工过程中,产生的各种物理现象如切削力、切削热、刀具磨损以及工件的表面质量等,都和切削过程中木材的变形有关。因此,研究切削区木材的变形对改善刀具的切削性能,提高生产率和加工质量,降低生产成本,具有重要意义。

2.1 木材切削过程及变形

2.1.1 木材切削过程

研究切削区木材的变形,应首先了解木材切削过程。切削刀是主要参与木材切削的刀具组成部分,从理论上讲,切削刀呈几何线状,这种刃口呈几何线状的切刀被称为理想切刀,因为实际切刀的刃口在任何时候都不会成为几何线状,而是呈不规则的曲面状态。为了研究问题方便起见,将切刀刃口近似看成圆弧曲面,圆弧半径用 ρ 表示, ρ 值表示刃口的磨钝程度,因此 ρ 又被称为刃口钝半径。

当实际切刀接近木材时,圆弧形刃口必有一点 a 最先与木材接触,沿切削方向推进切刀时, a 点处木材承受的压缩应力最大以至于产生破坏。最终木材沿 a 点轨迹分为两部分, a 点轨迹称为分开线,如图2-1所示。

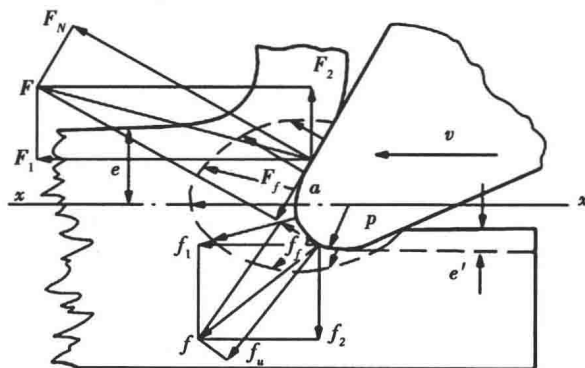


图2-1 木材切削过程