

全国高等林业院校试用教材

**木材切削原理与刀具**

南京林产工业学院主编

中国林业出版社出版（北京西城区刘海胡同7号）  
新华书店北京发行所发行 北京市卫顺印刷厂印刷

787mm×1092mm 16开本 19.5 印张 488千字

1983年12月第1版 1996年8月第5次印刷

印数：19401—19800册 定价：15.10 元

ISBN 7-5038-0480-7/TB·0123

# 目 录

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 第一章 木材切削的共同规律 .....                                   | 1  |
| 第一节 基本概念 .....                                        | 1  |
| 一、切削运动 .....                                          | 1  |
| 二、刀具和工件的各组成部分 .....                                   | 3  |
| 三、刀具的角度 .....                                         | 3  |
| 四、切削层尺寸参数 .....                                       | 5  |
| 第二节 切削区木材的变形 .....                                    | 6  |
| 一、纵向切削(//) .....                                      | 6  |
| 二、横向切削(⊥) .....                                       | 11 |
| 三、端向切削(⊥) .....                                       | 13 |
| 第三节 切削力 .....                                         | 17 |
| 一、切削力和切削功率 .....                                      | 17 |
| 二、单位切削力和单位切削功率 .....                                  | 19 |
| 三、切削力的计算 .....                                        | 20 |
| 四、影响切削力的因素 .....                                      | 31 |
| 第四节 刀具的磨损和耐用度 .....                                   | 37 |
| 一、刀具磨损的特点 .....                                       | 37 |
| 二、刀具磨损的原因 .....                                       | 38 |
| 三、磨损过程与磨损限度 .....                                     | 39 |
| 四、刀具的耐用度 .....                                        | 40 |
| 第二章 铣削 .....                                          | 43 |
| 第一节 铣削的分类 .....                                       | 43 |
| 第二节 铣削运动学 .....                                       | 44 |
| 一、直齿圆柱铣削 .....                                        | 44 |
| 二、螺旋齿圆柱铣削 .....                                       | 47 |
| 第三节 铣削时的力和功率 .....                                    | 43 |
| 一、直齿圆柱铣削的力和功率 .....                                   | 43 |
| 二、螺旋齿圆柱铣削的力和功率 .....                                  | 55 |
| 第四节 成形铣削与锥形铣削 .....                                   | 56 |
| 一、成形铣削 .....                                          | 56 |
| 二、锥形铣削 .....                                          | 58 |
| 第五节 影响表面不平度的主要因素 .....                                | 60 |
| 一、铣刀转数 $n$ 、直径 $D$ 、刀齿数 $Z$ 和进给速度 $U$ 对运动不平度的影响 ..... | 60 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 二、刀刃的位置精度和运动精度对表面不平度的影响                | 61  |
| 三、每齿进给量 $U_z$ 和刃倾角 $\omega$ 对破坏性不平度的影响 | 61  |
| 四、前角 $\gamma$ 对表面不平度的影响                | 63  |
| 五、切削速度 $V$ 对表面不平度的影响                   | 64  |
| 六、刀具的变钝程度对表面不平度的影响                     | 64  |
| 七、顺铣和逆铣对表面不平度的影响                       | 65  |
| <b>第三章 铣刀</b>                          | 66  |
| 第一节 铣刀的分类                              | 66  |
| 第二节 整体铲齿成形铣刀的设计                        | 67  |
| 一、铲齿成形铣刀的结构及设计原理                       | 67  |
| 二、铲齿成形铣刀设计                             | 73  |
| 第三节 整体套装铣刀                             | 79  |
| 一、尖齿铣刀                                 | 79  |
| 二、铲齿槽铣刀                                | 82  |
| 三、钩刀(“S”形铣刀)                           | 82  |
| 四、锯片铣刀                                 | 83  |
| 第四节 装配式套装铣刀                            | 84  |
| 一、装配式成形铣刀                              | 85  |
| 二、装配式开槽铣刀                              | 90  |
| 三、装配式仿形铣刀                              | 96  |
| 第五节 组合铣刀                               | 97  |
| 一、并拢调节的组合金口铣刀                          | 97  |
| 二、并拢调节的组合成形铣刀                          | 99  |
| 三、螺纹套筒调节的组合槽铣刀                         | 102 |
| 四、复合刀具                                 | 102 |
| 第六节 刨刀                                 | 102 |
| 一、刀体和刀片的结构                             | 102 |
| 二、刨刀片的安装                               | 104 |
| 三、刨刀片的等重、平衡以及在机床上的刃磨与刮平                | 106 |
| 第七节 柄铣刀                                | 107 |
| 一、概述                                   | 107 |
| 二、角度参数                                 | 108 |
| 三、齿数及刀齿的配置                             | 110 |
| 四、尺寸参数                                 | 111 |
| 五、齿背与齿槽                                | 111 |
| 六、装配式柄铣刀和仿形雕刻刀                         | 111 |
| 七、偏心装夹的单刃圆弧齿背立铣刀                       | 112 |
| <b>第八节 新型铣刀</b>                        | 114 |
| 一、焊接式整体结构硬质合金铣刀                        | 114 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 二、焊接式整体结构硬质合金组合成形铣刀  | 115 |
| 三、装配式不重磨硬质合金(或高速钢)铣刀 | 117 |
| 四、低噪声螺旋刨刀            | 118 |
| 五、阶梯形刨刀              | 120 |
| 六、用作裁口净光的锥形端面铣刀      | 121 |
| 第九节 铣刀的刃磨            | 122 |
| 一、整体铣刀的刃磨            | 122 |
| 二、刨刀片的刃磨             | 124 |
| 三、装配式铣刀的刃磨           | 125 |
| 四、柄铣刀的刃磨             | 126 |
| 五、硬质合金铣刀的刃磨          | 127 |
| 第四章 锯切               | 129 |
| 第一节 锯子的构形            | 129 |
| 一、锯子的构形              | 129 |
| 二、锯齿廓形表示法的国际标准       | 131 |
| 第二节 锯齿的切削            | 133 |
| 一、纵锯齿的切削             | 133 |
| 二、横锯齿的切削             | 136 |
| 第三节 锯切运动学            | 138 |
| 一、带锯锯切运动学            | 138 |
| 二、圆锯锯切运动学            | 140 |
| 三、排锯锯切运动学            | 141 |
| 第四节 锯切力和功率           | 147 |
| 一、带锯和圆锯              | 147 |
| 二、排锯                 | 155 |
| 第五节 锯齿的切削性能          | 157 |
| 一、锯齿的切削锐度            | 157 |
| 二、锯齿的强度              | 160 |
| 三、锯齿的耐用度             | 161 |
| 第五章 锯子               | 163 |
| 第一节 带锯条              | 163 |
| 一、带锯条的结构             | 163 |
| 二、切削负荷对带锯条的影响        | 167 |
| 三、带锯条的张紧力            | 169 |
| 四、带锯锯身的适张度           | 174 |
| 五、薄带锯条               | 175 |
| 第二节 圆锯片              | 176 |
| 一、锯片的种类与结构           | 177 |
| 二、锯片的适张度             | 181 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 三、特种锯片              | 185 |
| 第三节 排锯条             | 193 |
| 第四节 锯子的修磨           | 194 |
| 一、开齿                | 194 |
| 二、接锯                | 195 |
| 三、修整锯身              | 195 |
| 四、拨压锯料              | 199 |
| 五、刃磨                | 199 |
| 第六章 钻削、榫槽切削及其刀具     | 201 |
| 第一节 钻削和钻头           | 201 |
| 一、钻削原理              | 201 |
| 二、钻头的类型、结构和应用       | 207 |
| 三、钻头的刃磨及钻削质量        | 215 |
| 第二节 榫槽切削及其刀具        | 221 |
| 一、榫槽切削              | 221 |
| 二、榫槽切削刀具的类型、结构和应用   | 224 |
| 三、榫槽切削刀具的刃磨和切削质量    | 231 |
| 第七章 旋切和旋刀           | 234 |
| 第一节 旋切原理            | 234 |
| 一、旋切的特点             | 234 |
| 二、旋切运动学             | 234 |
| 第二节 旋切过程中角度参数及其变化规律 | 236 |
| 一、旋切过程中的主要角度参数      | 236 |
| 二、楔角                | 237 |
| 三、切削角               | 237 |
| 四、后角                | 237 |
| 五、后角的变化规律           | 238 |
| 第三节 改变后角的方法         | 241 |
| 第四节 单板的压紧           | 245 |
| 一、压紧程度              | 245 |
| 二、压尺的种类             | 245 |
| 三、压尺的主要参数           | 246 |
| 四、压尺的安装位置           | 247 |
| 五、压尺的压紧和摩擦阻力        | 249 |
| 六、刨切                | 250 |
| 第五节 旋切(刨切)力和功率      | 251 |
| 一、切削力计算             | 251 |
| 二、法向力计算             | 252 |
| 三、功率计算              | 252 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第六节 旋刀和压尺的结构、安装与旋刀的刃磨 | 254 |
| 一、旋刀                  | 254 |
| 二、压尺                  | 254 |
| 三、旋刀和压尺在机床上的安装        | 255 |
| 四、旋刀的刃磨               | 258 |
| 五、刮刀                  | 259 |
| 第八章 磨削与磨具             | 261 |
| 第一节 磨削的种类             | 261 |
| 第二节 磨具的特性             | 263 |
| 一、磨料                  | 263 |
| 二、粒度                  | 264 |
| 三、基体                  | 264 |
| 四、粘结剂                 | 265 |
| 五、组织                  | 265 |
| 六、硬度                  | 265 |
| 第三节 磨削过程              | 266 |
| 一、磨削特点                | 266 |
| 二、磨削厚度                | 267 |
| 第四节 磨削表面的质量           | 269 |
| 一、磨削表面的不平度            | 269 |
| 二、影响磨削表面质量的因素         | 271 |
| 第五节 磨削生产率、力和功率的计算     | 272 |
| 一、磨削生产率               | 272 |
| 二、砂纸的耐磨性              | 273 |
| 三、磨削力和功率              | 274 |
| 四、影响磨削生产率和功率的因素       | 275 |
| 第六节 磨具的准备             | 277 |
| 一、砂带的准备               | 277 |
| 二、砂带在砂辊上的安装           | 278 |
| 第九章 木工刀具材料及提高耐磨性的方法   | 280 |
| 第一节 木工刀具材料及其合理选择      | 280 |
| 一、木工刀具的材料及其发展         | 280 |
| 二、刀具材料的合理选择           | 282 |
| 第二节 提高木工刀具耐磨性的方法      | 287 |
| 一、硬质合金木工刀具            | 287 |
| 二、合金堆焊法               | 291 |
| 三、其它提高耐磨性的方法          | 295 |

## 第一章 木材切削的共同规律

在实际生产中, 尽管各种木材的切削方式不同, 但从切削运动和刀具几何形状的基本组成来看, 却有着相同之处, 都可以看作是一把楔形切刀和一个直线运动所构成的直角自由切削(刀刃与主运动方向垂直, 刀刃上参加切削各点的切屑移动方向相同的切削称为直角自由切削)的切削过程。这个最简单的、最基本的切削方式, 在一定程度上, 可以反映各种复杂切削方式、切削机理的共同规律。

研究木材切削过程, 首先需要建立有关切削运动、刀具和工件的各组成部分, 以及刀具的角度和切削层参数等基本概念。

木材切削的过程, 实质上是木材在刀具的作用下切削区发生变形的过程。因此, 对于切削区木材变形的研究, 是木材切削研究的基本问题。至于在切削过程中产生的一些物理现象, 如切削力, 刀具磨损等, 也都需要在切削过程的研究中一一加以阐明。

### 第一节 基本概念

借助刀具, 按预定的表面, 切开工件上木材之间的联系, 从而获得要求的尺寸、形状和粗糙度的制品, 这种工艺过程, 称为木材切削。在大多数情况下, 工件被切掉一层相对变形较大的称之为切屑的组织, 以获取制品, 如锯切、铣削、磨削、钻削等大部分切削方式。少数情况, 切下来的切屑本身便是制品, 如单板旋切、刨切等。也有的情况, 被切除的切屑和留下来的木材均为制品, 如削片制材。下面主要介绍从工件上切除切屑以获得制品的切削过程。

#### 一、切削运动

通常, 欲从工件上切除一层木材, 可以采用具备两种简单运动的刀具: 一种是直线运动刀具, 如刨刀[图1-1(a)]; 另一种是回转运动刀具, 如铣刀[图1-1(b)]。刨削时, 一般只要刀具相对工件作直线运动  $V$ , 便能完成切削过程。有时切削层厚, 受刀具强度和加工质量等因素的限制, 需要分数层依次切削, 才能切下一厚层木材。这时要求刀具切去一薄层切屑后, 退回原处, 让工件或刀具在垂直  $V$  的方向作直线运动  $U$ , 然后刀具再切削下一层木材。如此交替进行, 逐层切削, 直至切完需要切除的木材。

铣削时, 仅仅依靠刀具的回转, 只能切下一片木材, 要切掉一层木材, 必须在刀具回转的同时, 使工件作直线运动。

从上述可知, 要完成切削过程, 通常需要两个运动: 主运动和进给运动。

##### (一) 主运动

从工件上切除切屑, 从而形成新表面所需要的最基本运动, 称之为主运动。主运动和进给运动相比, 一般速度高, 消耗功率大。主运动用切削速度 ( $V$ ) 表示, 通常主运动由

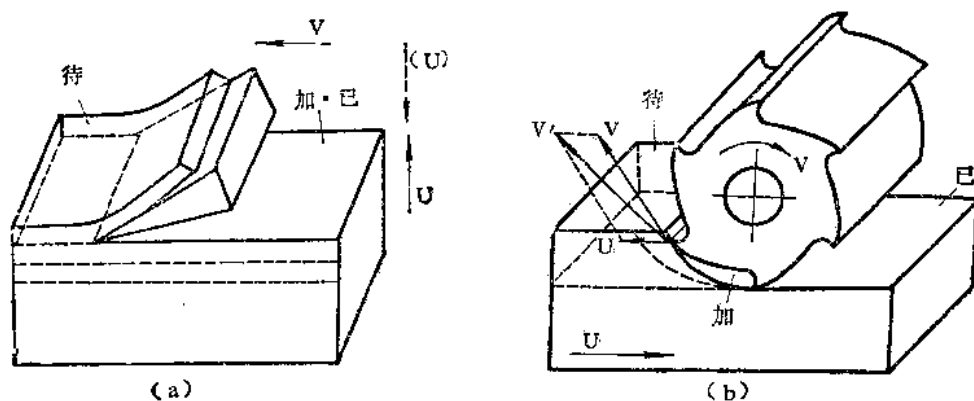


图 1-1 直线和回转运动切削时的加工表面

(a) 直线运动切削 (b) 回转运动切削

刀具完成。主运动可以是直线运动（如刨削），也可以是回转运动（如铣削）。

主运动为回转运动时主运动速度的计算公式为：

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{6 \times 10^4} \quad (\text{m/s})$$

式中：D——刀具（工件）或锯轮直径（mm）；

n——刀具（工件）或锯轮转速（r/min）。

有些刀具，如成形铣刀和钻头，由于刃口上各点的速度因回转半径不同而异，因此在确定主运动速度时，应计算最大速度。这是考虑到速度大的刃口部分，发热磨损亦大。

## （二）进给运动

使切屑连续或逐步从工件上切下所需的运动，称之为进给运动。进给运动可用不同形式的进给量表示：

每分钟进给量即进给速度  $U$ ——单位时间内工件或刀具沿进给方向的进给量（mm/min）；

每转进给量  $U_r$ ——刀具或工件每转一周两者沿进给方向的相对位移（mm/r）；

每双行程进给量  $U_{str}$ ——刀具与工件相对往返一次两者沿进给方向的相对位移（mm/str）；

每齿进给量  $U_z$ ——刀具每转动一齿距，刀具与工件沿进给方向的相对位移（mm/z）。

进给速度与进给量之间的关系为：

$$U = \frac{U_r \cdot n}{1000} = \frac{U_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min})$$

式中：z——铣刀的刀数；圆锯片的齿数；带锯锯切时为锯轮每转切削齿数。

## （三）切削运动

主运动和进给运动可以交替进行（如刨削），也可以同时进行（如铣削）。若同时进行，则产生的相对运动称为切削运动。切削运动的速度  $V'$  的大小为主运动速度  $V$  和进给速度  $U$  的向量和，即  $V' = \vec{V} + \vec{U}$  如图 1-1 (b)。

绝大多数木材切削过程的主运动速度比进给速度大许多,所以通常可以用主运动速度的大小、方向代表切削运动速度的大小、方向。

由于刀、锯零件表面大部分是以直线或圆作为母线形成的,因此构成切削运动的基本运动单元是直线运动和回转运动。任何切削加工方式,不管它多么复杂,从切削运动观点来看,都是由基本运动单元按照不同数量和方式组合而成的。常见的运动和运动组合有:

- 一个直线运动,如刨削,刮削;
- 二个直线运动,如带锯锯切,排锯锯切;
- 一个回转运动和一个直线运动,如铣削,钻削,圆锯锯切;
- 两个回转运动,如仿形铣削。

## 二、刀具和工件的各组成部分

为了研究刀具几何参数,以认识其几何特征,故需要对刀具和工件的各有关部分,给予定义。

工件一般分为三个表面如图1-1:

- ①待加工表面:即将切去切屑的表面;
- ②加工表面:刀刃正在切削的表面;
- ③已加工表面:已经切去切屑而形成的表面。

这三个表面,在整个切削过程中随刀具相对工件的运动而变化。有些加工过程的已加工表面和加工表面重合[图1-1(a)]。

木材切削刀具的种类虽说不少,但它们总是由两部分组成:一是外形近似一楔形体的切削部分;一是外形结构差异很大的支持部分。

楔形切刀由以下主要部分组成(图1-2):

前刀面——对被切木材层直接作用,使切屑沿其排出的刀具表面。

后刀面——面向已加工表面并与其相互作用的刀具表面。

前、后刀面均可以是平面,也可以是曲面。

切削刃——前刀面与后刀面的相交部分,靠它完成切除工作。

## 三、刀具的角度

刀具是依靠其切削部分切削木材的,因此刀具的角度应该是指刀具切削部分——楔形切刀的角度。

实际上,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定,而影响切削过程的其它刀具角度则需要借助坐标平面加以确定。为了便于反映刀具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:

- ①切削平面:通过切削刃切于加工表面的平面,即主运动速度向量  $V$  和切削刃的切线

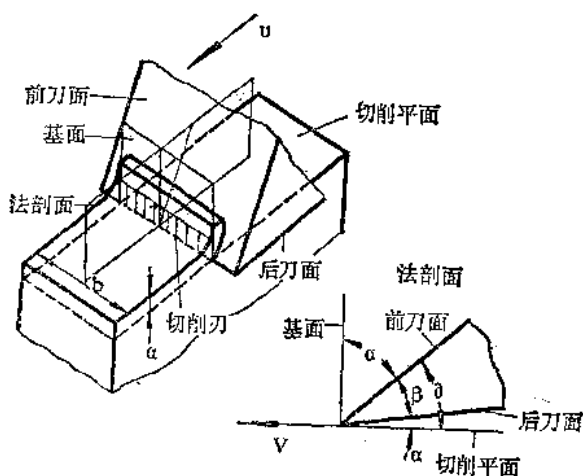


图 1-2 直线运动的刀具组成部分和角度

所组成的平面。主运动为直线运动且切削刃是直线时，切削平面和加工表面重合(图1-2)。主运动为回转运动时，切削平面的位置随刀口位置的改变而改变如图1-3。

②基面：通过切削刃垂直于主运动速度向量  $V$ ，也就是垂直于切削平面的平面。若主运动为回转运动，基面通过刀具(或工件)的轴线(图1-3)。

在上述坐标系中测量刀具角度时，角度的大小随测量平面相对切削刃的位置不同而异。现规定垂直于切削刃在基面投影的法向剖面为测量平面。在这个平面中量得的刀具角度，是设计、制造刀具时，刀具图纸上标注的刀具角度，也就是刃磨刀具时需要保持的刀具角度。

刀具的标注角度(刃磨角度)为：

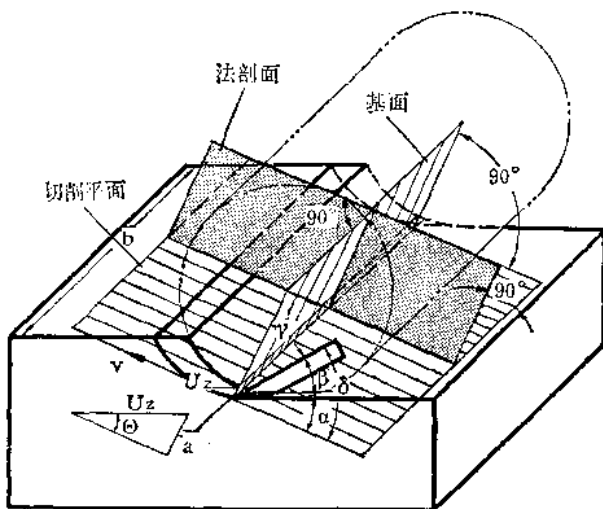


图 1-3 回转运动的刀具角度

①前角  $\gamma$ ：前刀面跟基面之间的夹角。表示前刀面相对基面的倾斜度，以便于切屑的变形。当前刀面与基面重合时，前角为零，在图示中前刀面相对基面顺时针方向倾斜，前角为“+”值，反时针方向倾斜为“-”值。

②后角  $\alpha$ ：后刀面跟切削平面之间的夹角。表示后刀面相对切削平面的倾斜度，用以减少刀具后面与工件之间的摩擦。

③楔角  $\beta$ ：前刀面跟后刀面间的夹角。它反映了刀具切削部分的利钝、强弱。

④切削角  $\delta$ ：前刀面跟切削平面之间的夹角。表示前刀面相对切削平面的倾斜度。在切削过程中，切削角的作用和前角相同，而它是用相反的数量概念来表达跟前角一致的作用的。换句话说，如果前角大，相应地切削角就小。因而用前角来表示刀具某一角度参数后，就无需再用切削角来表示了。

从上述诸角度定义中可知：

$$\begin{cases} \gamma + \beta + \alpha = 90^\circ \\ \delta = \beta + \alpha = 90^\circ - \gamma \end{cases}$$

在实际切削过程中，刀具的角度将受切削运动、切削刃安装高低、切削力和刀具磨损等因素影响，发生变化。也就是说，刀具的工作角度不等于标注角度。下面仅以切削运动对刀具角度的影响为例，给予分析。

决定刀具标注角度的坐标平面——切削平面，是主运动速度向量  $V$  和切削刃线所组成的平面。如果刀具只靠一个主运动完成切削过程(图1-2, 1-3)，那么标注角度即是工作角度；如果刀具依靠同时进行的主运动和进给运动切削木材，那么由于相对运动速度向量  $V'$  偏离主运动速度向量  $V - \alpha_m$  角 ( $\alpha_m = \arctg = \frac{U}{V}$ )，相应的新的切削平面也偏离原来切削平面  $-\alpha_m$  角，因此刀具的实际工作角度  $\alpha_w = \alpha - \alpha_m$  (图1-4)，比原来

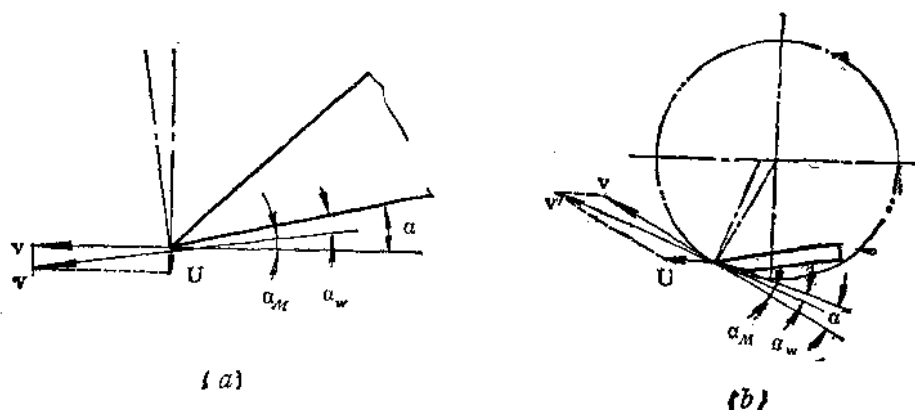


图 1-4 刀具工作后角和标注后角的关系

(a)直线运动切削 (b)回转运动切削

减小了。通常主运动速度远远大于进给运动速度， $\alpha_m$ 角小于 $1^\circ$ ，因而可以用标注角度代替工作角度。只有在主运动速度比进给运动速度大得不多时，才需要考虑刀具的工作角度。

#### 四、切削层尺寸参数

刀具相对工件沿进给方向每移动 $U_{x1}$ （每双行程进给量）或 $U_z$ （每转进给量）或 $U_x$ （每刀齿进给量）后，一个刀齿正在切削的木材层，称为切削层。切削层的尺寸参数，指的是能反映刀具切削部分受力状况和切屑几何形状的参数——切削厚度 $a$ 和切削宽度 $b$ 。且规定这两个参数在切削层和基面相截的平面内测定（图1-2，1-3）。

①切削厚度 $a$ ：主运动为直线运动时，切削厚度为切削刃相邻两个位置间的垂直距离；亦为相邻两个加工表面间的垂直距离（图1-2）。直线运动时的切削厚度在刀具切削木材的过程中是一常数；回转运动时的切削厚度在切削过程中是变化的（图1-3），它可以用下式计算：

$$a = U_z \cdot \sin \theta$$

式中： $U_z$ ——每刀齿进给量；

$\theta$ ——运动遇角，切削速度方向和进给速度方向间的夹角。

图中可见，从刀口切入木材开始，到刀口离开木材瞬时，运动遇角由小变大，因而切削厚度也相应由小变大。

②切削宽度 $b$ ：切削宽度是刀刃的工作长度，也是刀刃的长度在基面上的投影。当切削速度垂直于刀刃时，切削宽度等于工作宽度。

③切削面积 $A$ ：切削层在基面内的截面面积为：

$$A = a \cdot b$$

主运动为回转运动时，切削面积的大小，随切削厚度的变化而变化。在实际木材切削过程中，由于切削层木材的变形，切削层截面的形状会发生变化。但由于变化量较小，故可以用名义切削层截面的形状来代替实际切削层截面的形状，即用名义切削厚度、宽度和面积代替实际切削厚度、宽度和面积。

通常所谓切屑厚度、宽度和面积，就是指切削厚度、宽度和面积。

## 第二节 切削区木材的变形

在木材切削加工过程中出现的各种物理现象,诸如切削力、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、切屑的形成密切相关。因此要提高切削加工的生产率和加工质量,降低生产成本,以至于改善切削加工技术的本身,就必须对切削过程进行深入的研究。

木材切削的过程,实质上,是被切下的木材层在刀具的作用下,发生剪切、挤压、弯折等变形的过程。由于木材是各向异性材料,因而有必要分别不同的切削方向,分析切屑的类型、形成条件和切削区木材的变形。

根据刀刃相对木材纤维方向的不同,以及刀刃运动方向相对纤维方向的变化,木材直角自由切削可以分为纵向、横向和端向切削。

### 一、纵向切削 (//)

刀刃垂直于纤维,刀具在纤维平面内平行于纤维长度方向运动的切削为纵向切削。根据 N.C.Franz 的试验研究,纵向切削可以分为三种主要切屑类型:

纵Ⅰ型切屑——屑瓣之间的界线有时分明,形成多角形切屑;有时不清,产生螺旋状切屑;

纵Ⅱ型切屑——光滑螺旋形切屑;

纵Ⅲ型切屑——压碎、皱折切屑。

下面分别根据三种不同的纵向切屑类型分析纵向切削时切削区木材的变形。

#### (一) 纵Ⅰ型切屑 (图1-5)

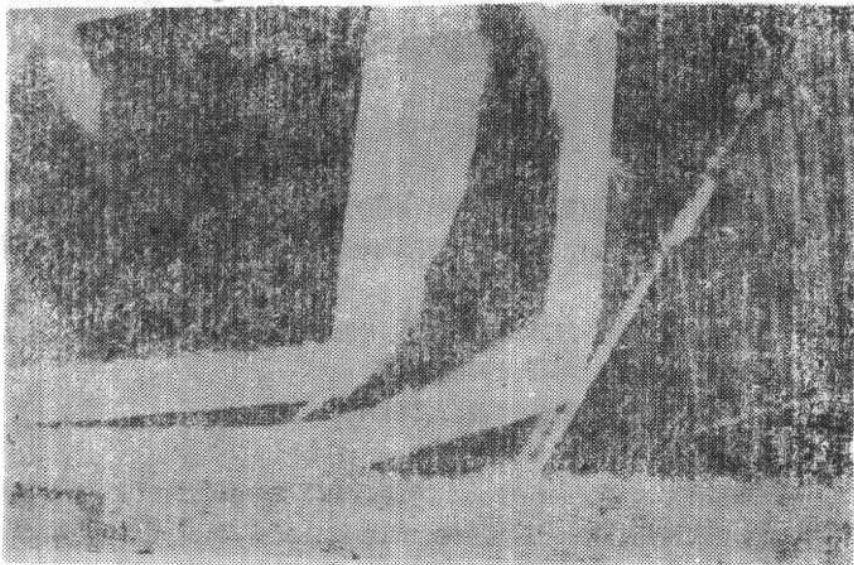


图 1-5 纵Ⅰ型切屑

当刀具切入木材时,木材被前刀面在顺纤维方向不均匀压缩,同时沿切削层木材底面剪切。随着刀具的移动,刀具对切削层木材在垂直纤维方向的拉力亦逐渐加大[图1-6(a)],

直到拉应力超过木材横向抗拉强度极限时, 切削层木材被刀具劈裂, 在刃口前出现超越裂缝, 形成一片和切削层木材相连的切屑。在刀具继续移动切削时, 这片切屑象悬臂梁一样, 被前刀面折断, 产生一片屑瓣。在切屑被拉裂前瞬时, 切削力的两个分力都达到最大值。在这以后, 只是折断屑瓣需要的较小的力。最后切削阶段切削力逐渐下降到零, 直至刃口接触到未变形的木材层, 开始另一片屑瓣的形成周期。

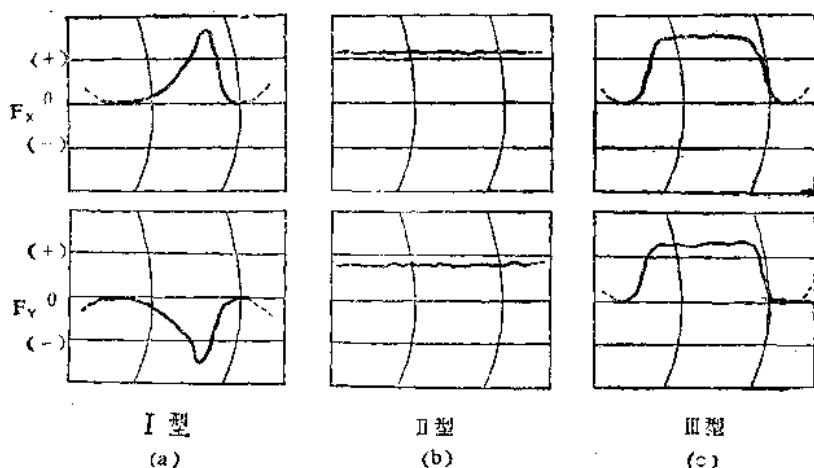


图 1-6 纵向切削时不同切屑类型的切削力变化图

(a)纵 I 型切屑 (b)纵 II 型切屑 (c)纵 III 型切屑

从切削力变化图中可见, 尽管纵 I 型切屑形成过程中, 力的瞬时值较大, 但切削力变化曲线[图 1-6(a)]下的面积, 跟其它两种切屑类型相比, 相对要小。这说明纵 I 型切屑形成时作的功也相对要小, 因而此时的切削功率比其它切屑类型要高。

在纵向切削产生纵 I 型切屑时, 加工表面质量良好, 但不如纵 II 型。同时, 由于刃口前出现超越裂缝, 所以相对来讲, 刀刃磨损较小。

纵 I 型切屑易在下述条件中产生: 低抗劈裂强度配合高韧性和高抗弯强度; 低含水率; 厚切屑(任何切屑厚度在其它条件中亦会形成纵 I 型切屑); 大前角 ( $25^\circ$  或更大); 切屑和刀面间的低摩擦系数。

在产生 I 型切屑的切削情况中, 由于刃口前木材的裂缝超越刃口产生, 所以当纤维方向与刀具运动方向不一致时, 会出现不同于 I 型切屑形成的情况。

在实际生产中常出现顺纹和逆纹切削(图 1-7, 1-8)。纤维方向顺前刀面法向作用力方向倾斜的纵向切削称为顺纹切削。顺纹纵向切削时, 木材的劈裂从刃口开始, 向工件表面倾斜延伸。裂缝向上倾斜延伸的结果是下一片新切屑的初始切削深度降到零。此时刀具变成从薄层木材切入, 形成加厚的 II 型切削。随着刀具往前运动, 切到一定切屑厚度后, 切屑又恢复为 I 型。纵向切削出现这种复合型切屑, 可以产生优质加工表面。

纤维方向逆前刀面法向作用力方向倾斜的纵向切削称为逆纹切削。逆纹切削时刃口前的裂缝沿倾斜纤维方向伸展到切削平面以下, 因而切屑的根部增厚, 切屑的强度增大, 以致裂缝劈入木材更深, 造成加工表面凹坑(图 1-9)。为改善上述情况, 可在靠近刃口处, 加一压块于木材上, 压紧切屑, 使之提前折断。

## (二) 纵 II 型切屑 (图 1-10)

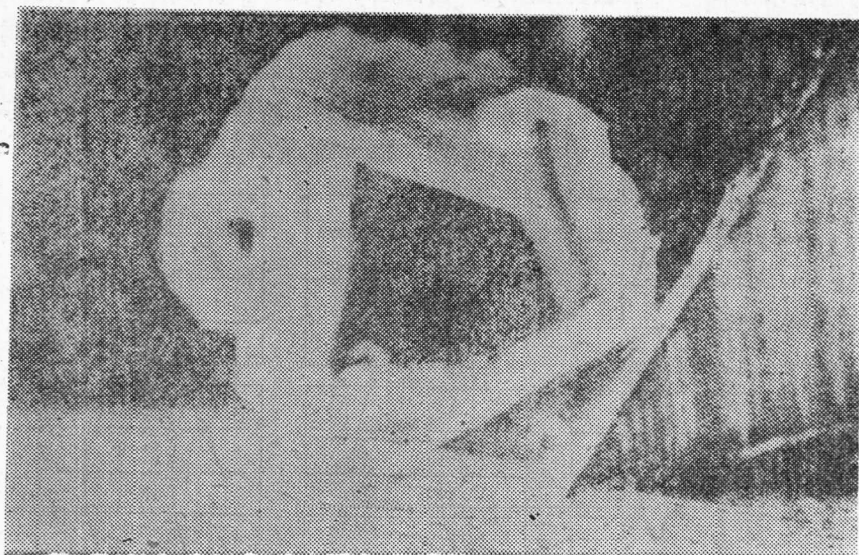


图 1-7 具 I、II 型复合型切屑的顺纹切屑



图1-8 I 型切屑的逆纹切削

切削时，切削层木材受前刀面的压缩，在跟纤维倾斜的平面内产生剪切应力。木材单体在剪切力作用下不断地变形、破坏。相应的剪应力依次变为临界值。变了形的木材沿前刀面向上脱开。应力也以不断形成的形式传递到刀具前尚未变形的木材上。这种型式的切屑形成过程的特点，是木材的连续破坏。正因为木材连续破坏，所以看不到屑瓣，形成光滑螺旋状切屑。纵 II 型切屑形成的切削力变化[图1-6(b)]同样说明了木材破坏的连续性， $F_x$  和  $F_y$  均显示出稳定、平衡状态。两力均为正值， $F_y$  力把切屑压向工件。由于纵 II 型切屑形成过程需要连续不变的大的切削力，所以它的切削功率消耗大于 I 型切屑形成。

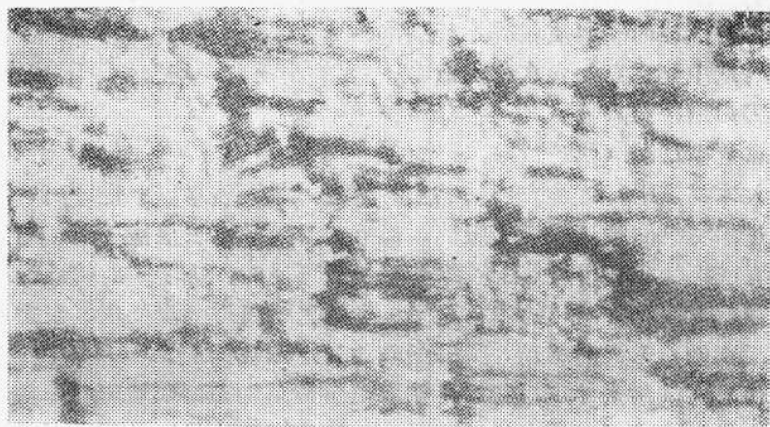


图 1-9 逆纹 I 型切屑形成时的表面 (糖松)

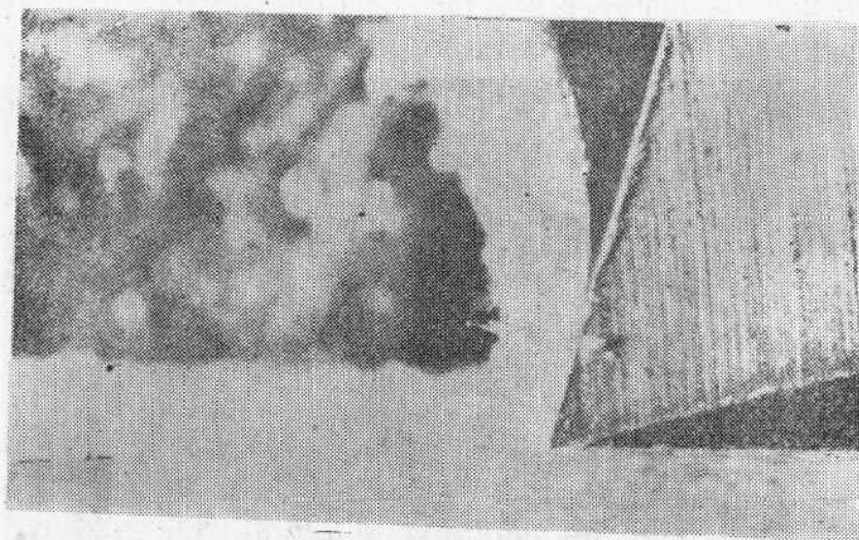


图 1-10 纵 II 型切屑



图 1-11 纵 III 型切屑

纵Ⅱ型切屑形成时表面质量好,无缺陷。

薄切屑,或中等到高的含水率,或 $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ 的小前角,均有助于形成纵Ⅱ型切屑。这种切屑形成时刀刃磨损较大。

### (三) 纵Ⅲ型切屑 (图1-11)

刀具进入木材,平行纤维方向压缩木材。当刀具深入木材一定距离后,被压木材层的压应力值超过木材纵向抗压强度极限时,靠近刀具前的木材层被压溃。与此同时,应力亦传递到还没有破坏的相邻木材层上。纵Ⅲ型切屑形成时,压溃了的切屑没有从前刀面上排出,而是留在前刀面和待破坏的木材之间。当这些材料进一步受压、皱损后,才从前刀面上排出。之后,随着刀具的移动,又开始新的切屑形成周期。

纵Ⅲ型切屑在某些条件下,特别是在应用负前角和刀面跟切屑间摩擦系数大时,产生变形。图1-12表示接近刃口处木材被压紧、切屑边增厚的状况。压紧了的木材粘附在前刀面上,在切削过程中,起了加大前角的作用。当刀具继续向前切削时,形成块状切屑,最后切屑块向上排出,开始新的切屑形成周期。

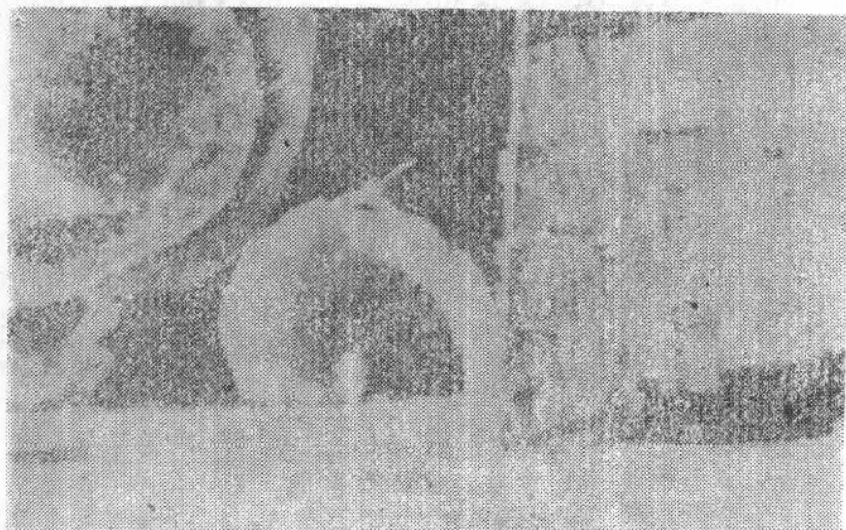


图 1-12 增厚边纵Ⅲ型切屑

在纵Ⅲ型切屑形成中,木材经常伸入到切削平面以下破坏,造成木材的单体未能沿切削平面完全切开,以致材面上留下凸起 (图1-13)。

从纵Ⅲ型切屑产生时的切削力变化图 [图1-6(c)]中可以看出,力的变化曲线和切屑形成周期有关。周期开始,

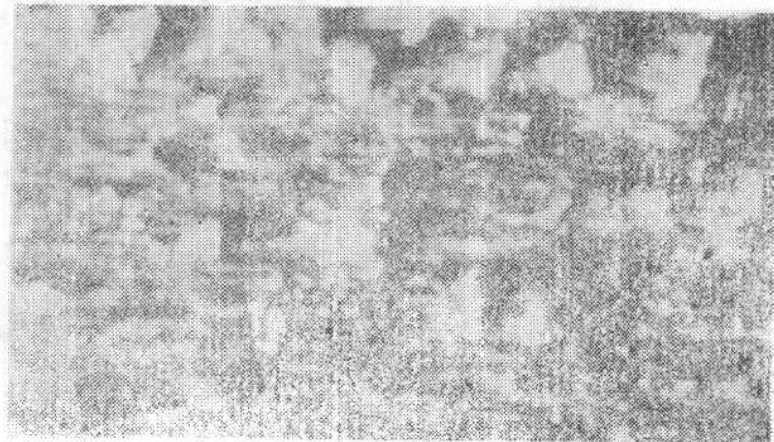


图 1-13 纵Ⅲ型切屑形成时的缺陷加工表面

力缓慢地增加,待前刀面完全切入木材,力陡增。于是刀前的木材被不断压实,切削力一直很大,持续到被压木材失去稳定而脱落,这时切削力下降到可以忽略不计的值。然后开始新的切屑形成周期。从力的变化曲线图中可知,纵Ⅲ型切屑的形成要消耗较大的切削功。

小前角、负前角、钝切削刃,或切屑和刀面之间的摩擦系数高,均容易产生纵Ⅲ型切屑。

## 二、横向切削(井)

刀刃平行于纤维方向,刀具在纤维平面内垂直于纤维方向运动的切削称为横向切削。

横向切削和纵向切削有一项特征是共同的,即两种切削条件下工作的刀具都是在纤维平面内切开木材。因而横向切削也有类似纵Ⅰ型和纵Ⅲ型切屑的横Ⅰ型切屑和横Ⅲ型切屑,在Ⅰ型和Ⅲ型之间还有一种兼有Ⅰ型和Ⅲ型特征的横Ⅰ-Ⅲ型过渡切屑(根据H.A.STEWART的切屑分类法)。

横Ⅰ型切屑——屑瓣间界线清晰,屑瓣稀松相连;

横Ⅲ型切屑——屑瓣间界线不明;

横Ⅰ-Ⅲ型过渡切屑——切屑上可见屑瓣,但屑瓣间界线没有横Ⅰ型切屑明显。

### (一) 横Ⅰ型切屑(图1-14)

刀具进入木材后,在垂直纤维方向压缩切削层木材,并沿切削层底面剪切切削层木材。这时刀刃前的木材纤维,由于其长度方向和刀刃平行,所以在刀刃的作用下,木材细胞不是平移剪切分离,而是边剪切,边滚动,形成“滚动”剪切。和纵向切削一样,当刀具对切削层木材作用的应力超过切削层底面的抗拉强度极限时,切削层木材被撕开,然后这层木材象悬臂梁一样被弯断,形成一片屑瓣。和纵向切削不同的是屑瓣不是沿纤维方向纵向撕裂,而是沿年轮中早材部分横纤维方向撕裂。此时屑瓣是在强度小的纤维平面中折断的,所以屑瓣远比纵Ⅰ型切屑的屑瓣短。

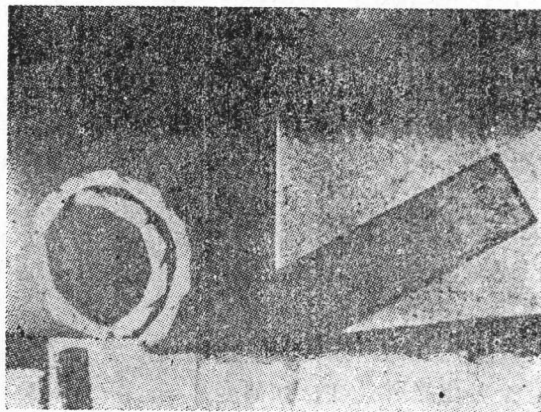


图 1-14 横Ⅰ型切屑  
糖槭, 含水率8%,  $\gamma=60^\circ$ ,  $a=1\text{mm}$

不同切屑类型的切屑受力、变形特点可以从试验记录下来的切削力变化曲线中(图1-15)反映。试验条件为:糖槭,  $W=8\%$ ,  $\gamma=60^\circ$ 。

横Ⅰ型切屑破坏时,屑瓣的形成阶段分明,在屑瓣破坏前瞬时,切削力达到最大值。当屑瓣一旦形成,切削力迅速降到接近零值。切削力的变化起伏大,力的峰值的周期性规律亦明显[图1-15(a)]。

根据试验,含水率8%的干燥槭木和糖松,在较大前角( $50^\circ\sim 60^\circ$ ),较厚切屑(1mm)时产生横Ⅰ型切屑。而 $\gamma=60^\circ$ ,薄切屑( $a=0.51\text{mm}$ )时,亦产生横Ⅰ型切屑。

在横Ⅰ型切屑形成时,往往屑瓣会带动切削平面以下的部分木纤维和屑瓣连成一体同时被撕裂。因而加工表面有凹坑,影响加工质量。

### (二) 横Ⅲ型切屑(图1-16)

切削区木材在刀具的压缩和“滚动”剪切作用下破坏,然后卷曲成屑瓣间界线不清晰