



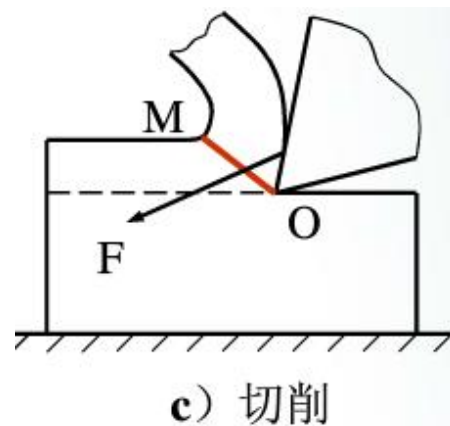
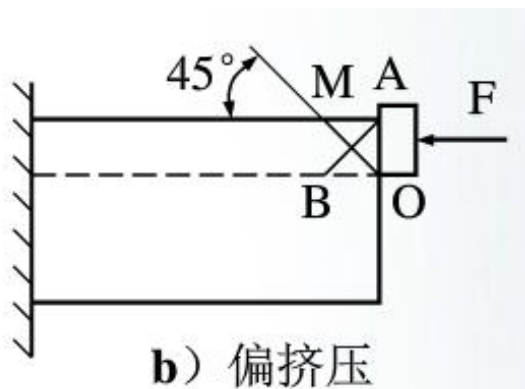
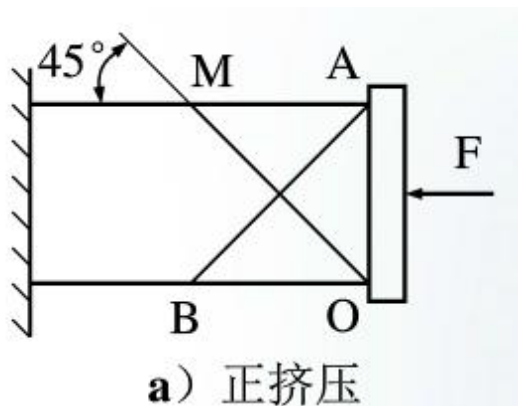
河海大学  
HOHAI UNIVERSITY

机电工程学院

# 第一章 切削与磨削过程

## 2.1 金属切削过程的变形

### 挤压与切削



切屑的形成与切离过程，是切削层受到刀具挤压而产生的以滑移为主的塑性变形过程。

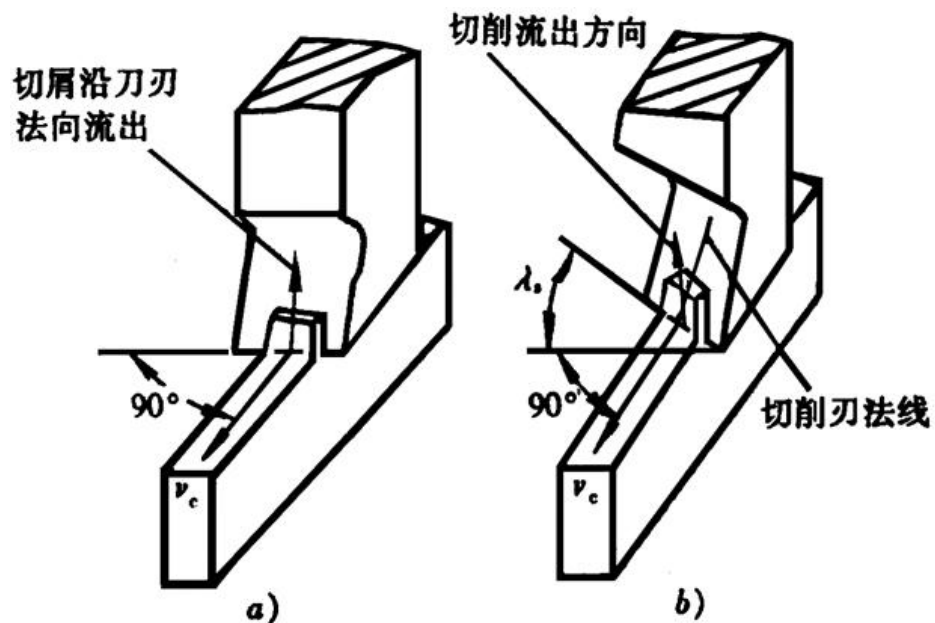
## 直角自由切削

## (1) 自由切削与非自由切削

只有一条直线切削刃参加切削工作，这种情况称之为自由切削。切金属的变形基本上发生在二维平面内。切削刃为曲线，或有几条切削刃（包括副切削刃）都参加了切削，金属变形更为复杂，且发生在三维空间内。

## (2) 直角切削与斜角切削

直角切削是指刀具主切削刃的刃倾角  $\lambda_s = 0$  的切削，此时，主切削刃与切削速度向量成直角，故又称它为正交切削。斜角切削是指刀具主切削刃的刃倾角  $\lambda_s \neq 0$  的切削。



## 切屑的行程过程

弹性变形



塑性变形



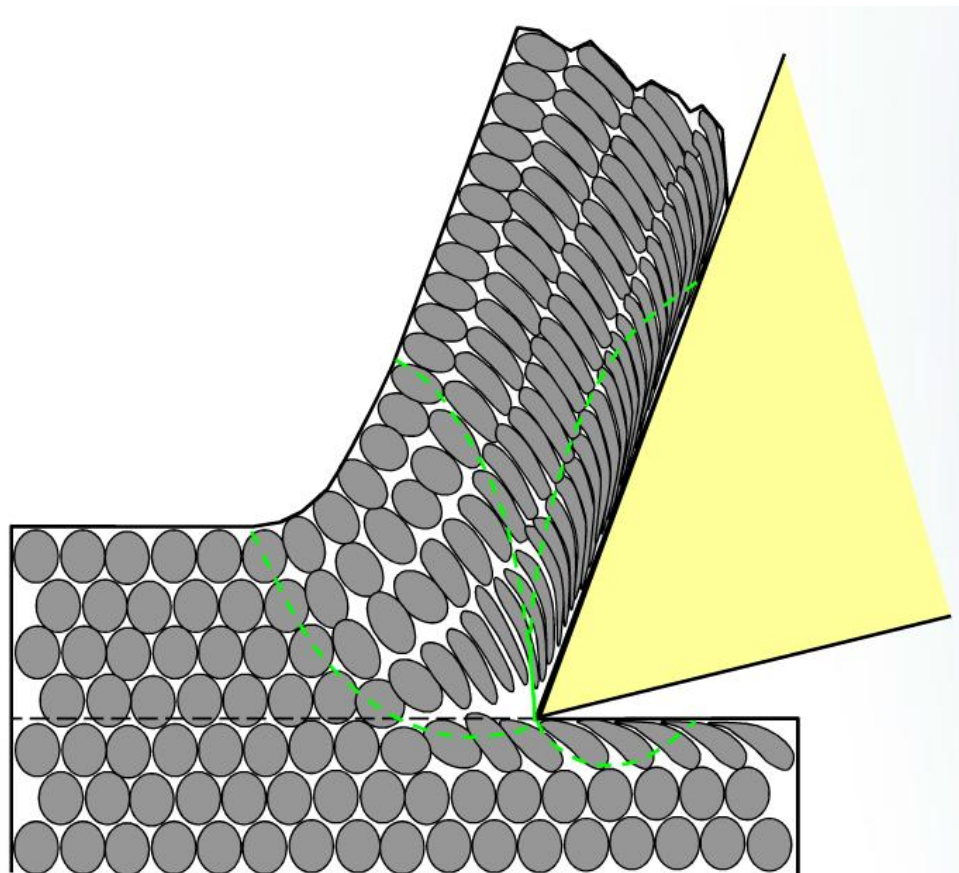
挤裂

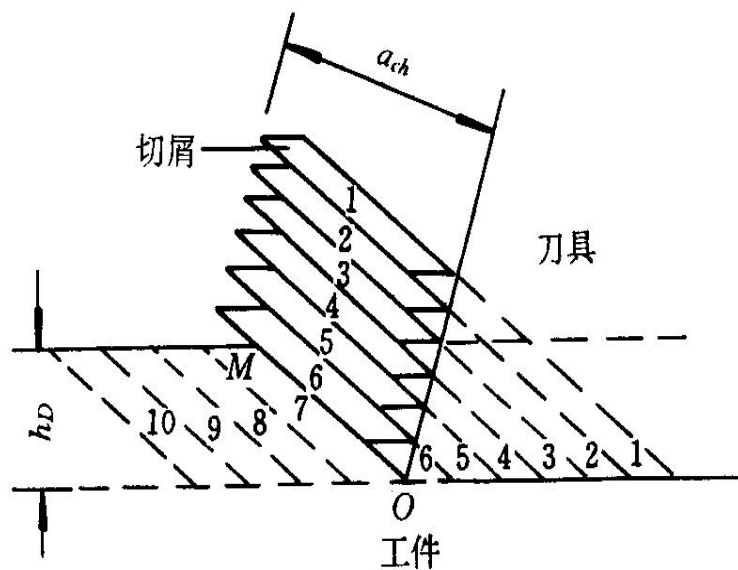


切离

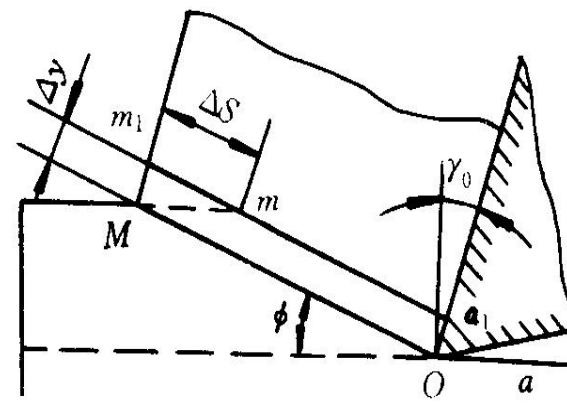


切屑

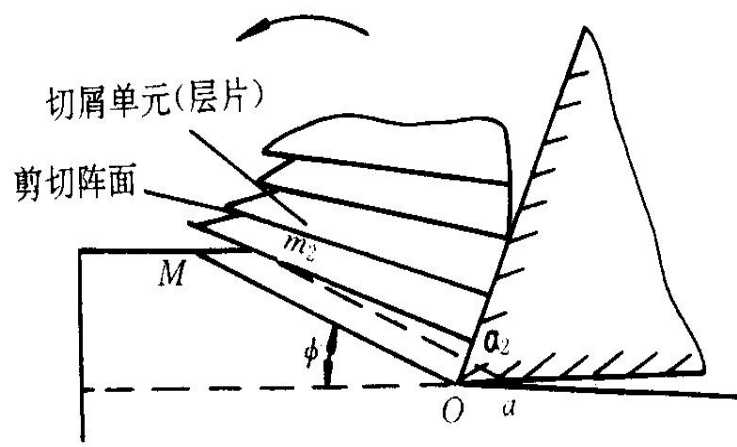




(a)



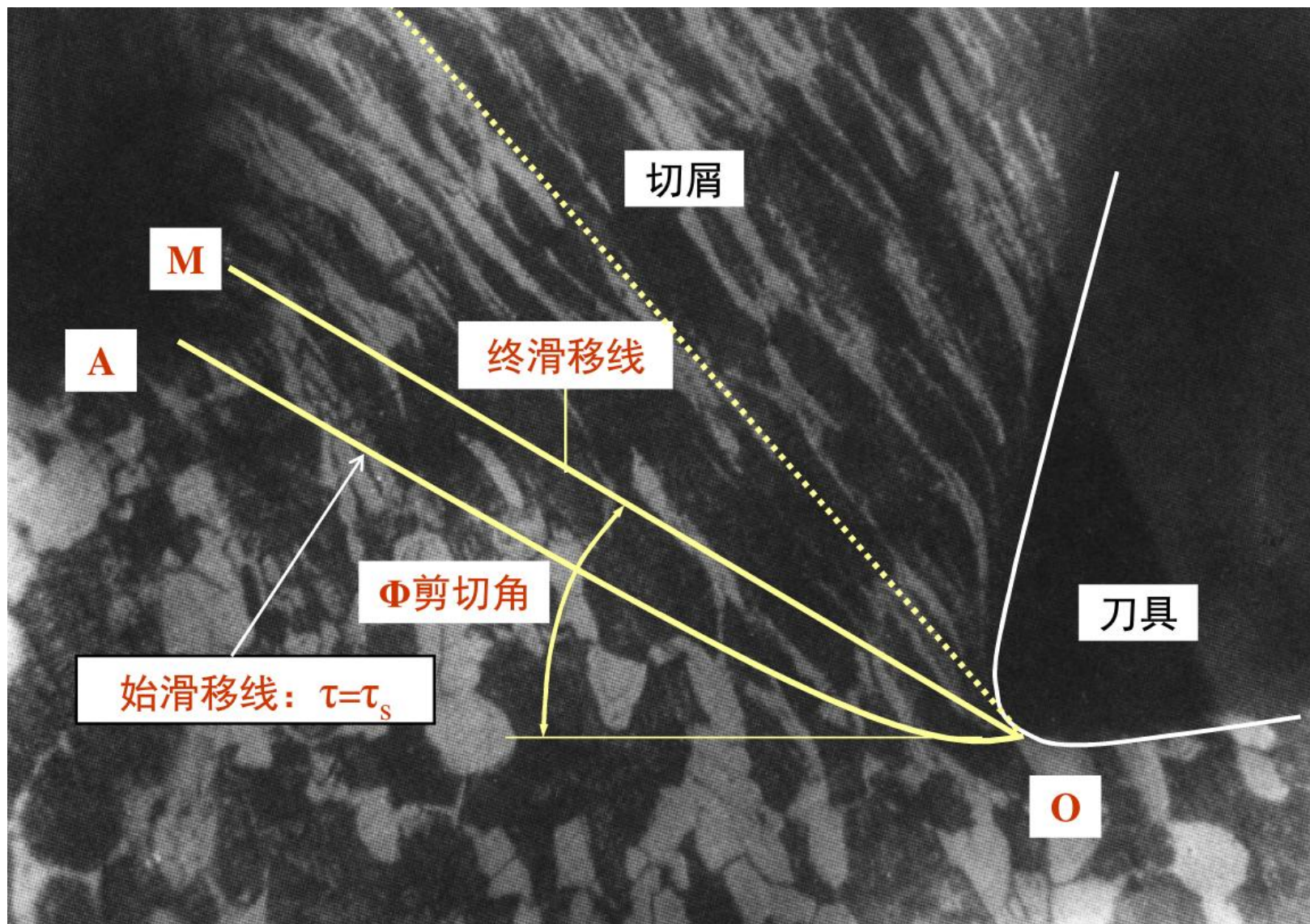
(b)



(c)

## 切屑形成过程模型



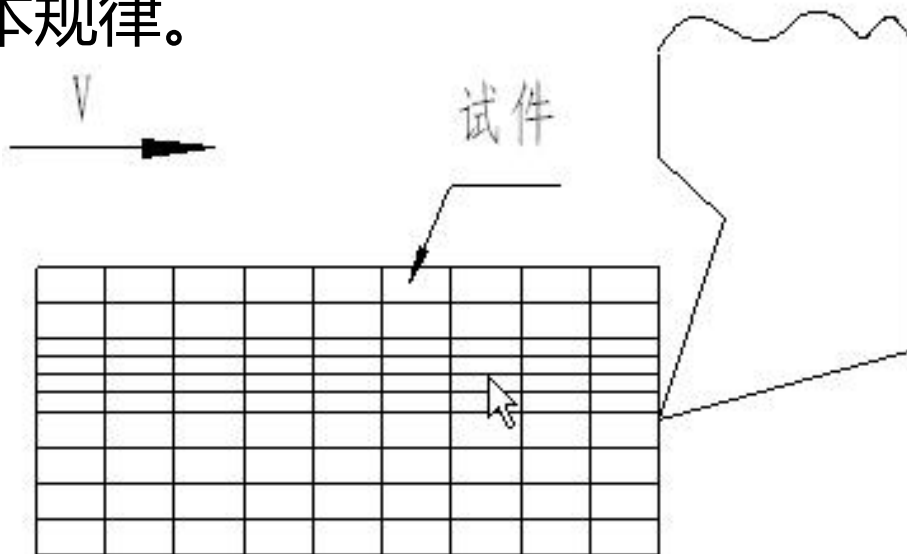


## 2.1.1 概述

### 1. 研究金属切削变形的常用方法

#### ◆ 侧面方格变形观察法

通过观察试件侧面的规则格线的变形情况，研究金属切削变形的基本规律。



## 2. 变形区的划分

### ◆ 第一变形区

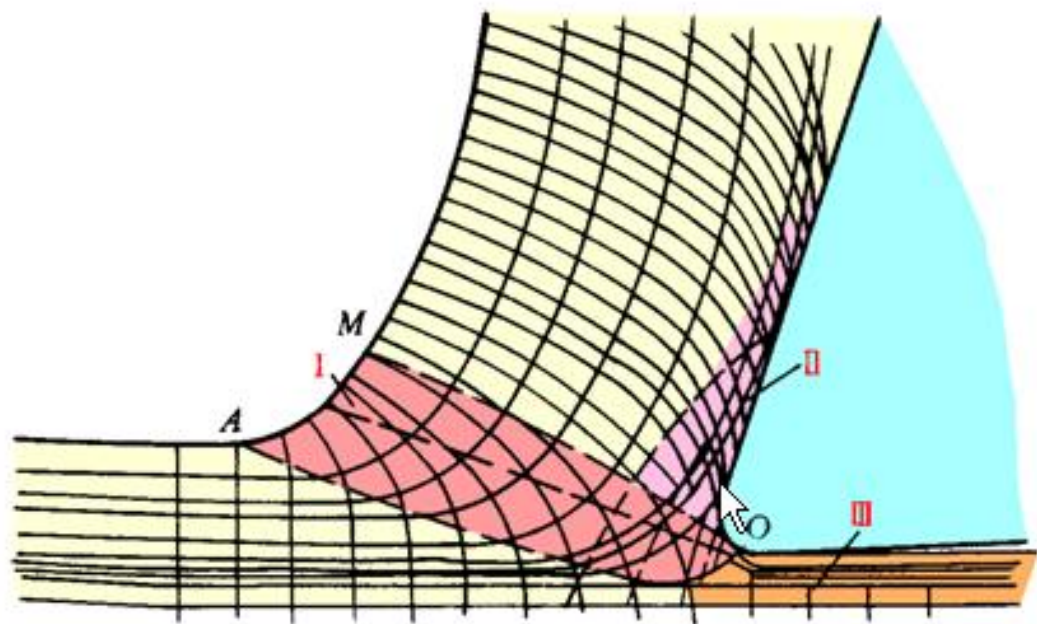
金属的剪切变形

### ◆ 第二变形区

切屑底部靠近前刀面处的金属发生“纤维化”的二次变形

### ◆ 第三变形区

在已加工表面上与刀具后面挤压、摩擦形成的变形区域



金属切削过程中的流线和滑移线示意图

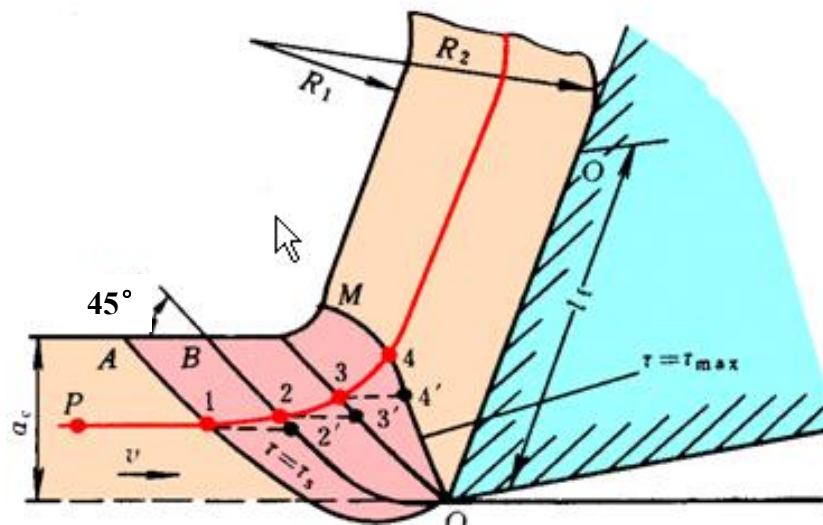


## 2.1.2 切削变形

第一变形区（OAM区域）的变形特征：

切削层金属沿滑移线的剪切滑移变形及随之产生的加工硬化。

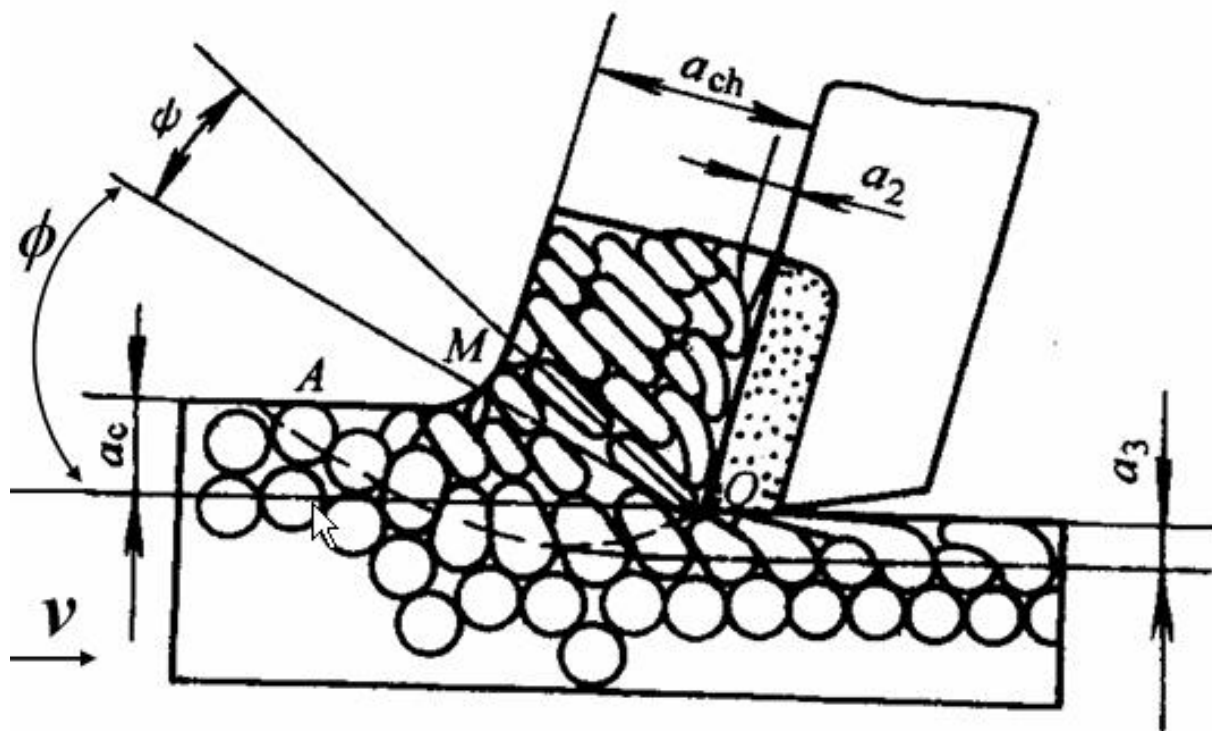
第一变形区的实际厚度为0.02~0.2mm，因此第一变形区可以看成是一个剪切面。



第一变形区的剪切变形

第二变形区（刀——屑接触区）的变形特征：

切削层底层金属受摩擦挤压的塑性变形及晶粒细化

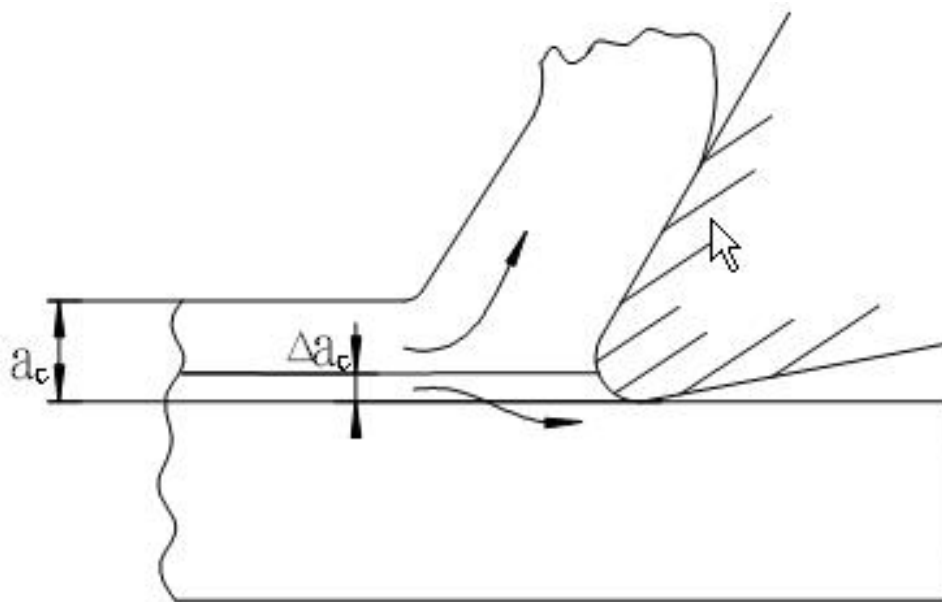


滑移与晶粒的伸长

## 第三变形区的变形特征：

已加工表面的表层金属受刀具的钝圆刃和后刀面的挤压摩擦，使金属材料晶粒再次纤维化并加工硬化

厚度为 $\Delta a_c$ 的一薄层金属被钝圆刃挤压塑性变形后成为以加工表面



第三变形区的金属变形

## 三个变形区对切削加工的影响

**第一变形区**的切削变形对刀具产生较大的切削抗力；

**第二变形区**主要对刀具产生（粘结）摩擦阻力以及造成前刀面磨损；

**第三变形区**主要对工件以加工表面质量产生重大影响。

## 2.1.3 切削变形程度

### 1. 切削变形系数 $\xi$

切屑厚度 $h_{ch}$ 与切削层的厚度 $h_D$ 之比称为厚度变形系数；

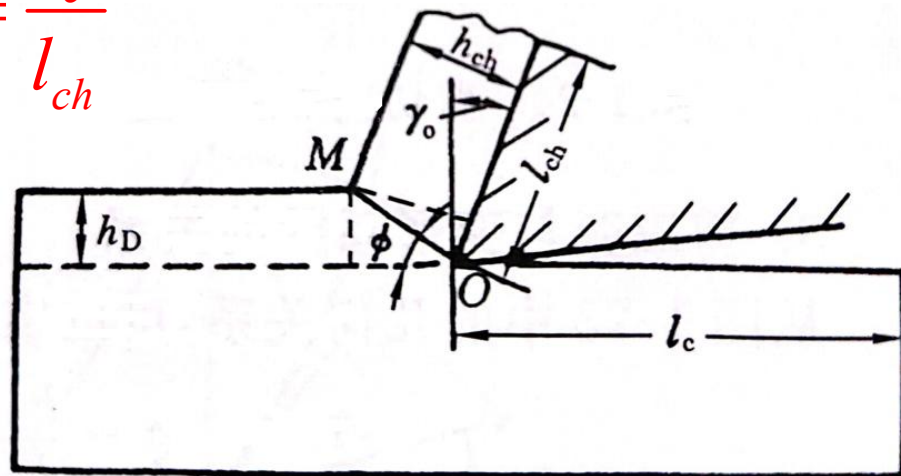
$$\xi_a = \frac{h_{ch}}{h_D}$$

而切削层长度 $l_c$ 与切屑长度 $l_{ch}$ 之比称为长度变形系数；

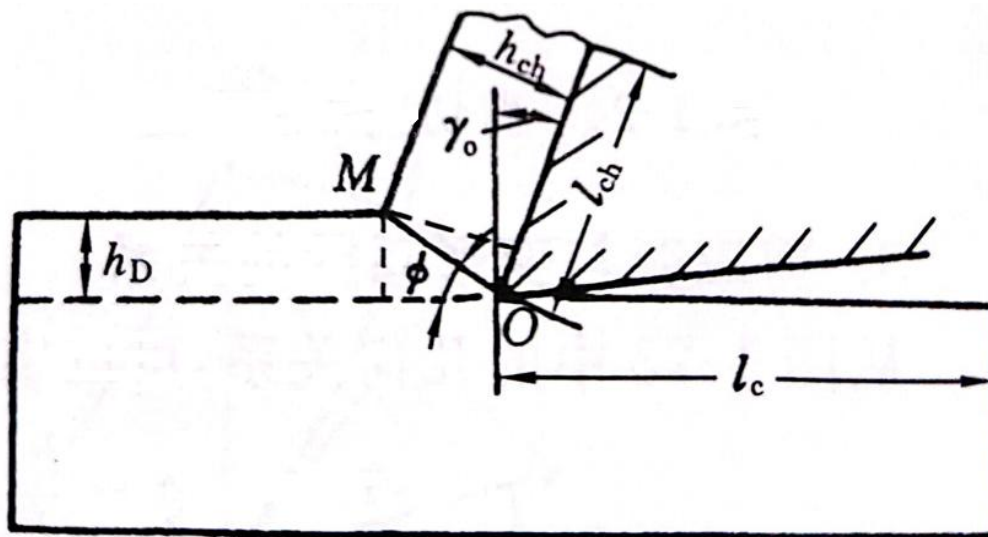
$$\xi_l = \frac{l_c}{l_{ch}}$$

根据体积不变原理, 则

$$\xi_a = \xi_l = \xi > 1$$





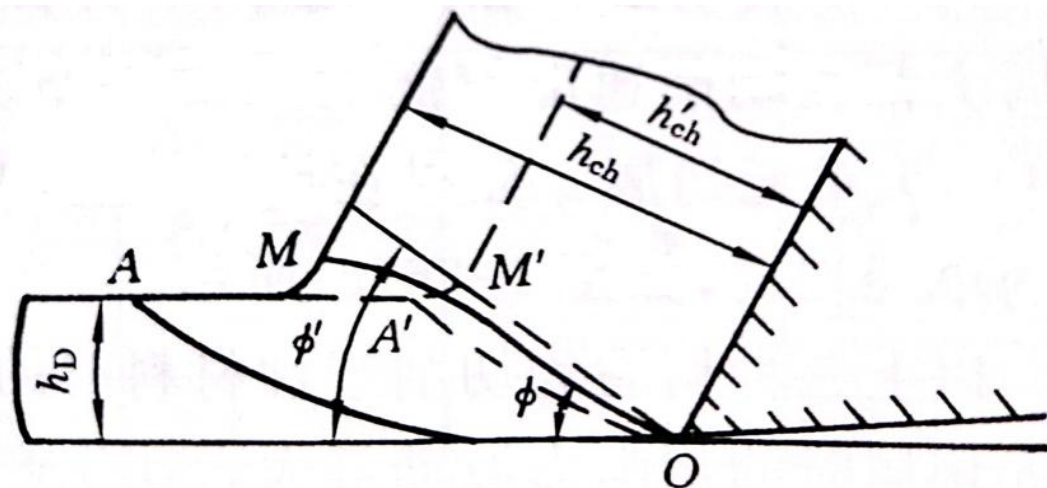


$$\xi = \frac{h_{ch}}{h_D} = \frac{OM \times \sin(90^\circ - \Phi + \gamma_o)}{OM \times \sin(\Phi)}$$

$$\xi = \frac{\cos(\Phi - \gamma_o)}{\sin(\Phi)}$$

## 2. 剪切角 $\varphi$

剪切面  $p_\varphi$  与切削速度(主运动)方向之间的夹角称为剪切角，用  $\varphi$  表示。



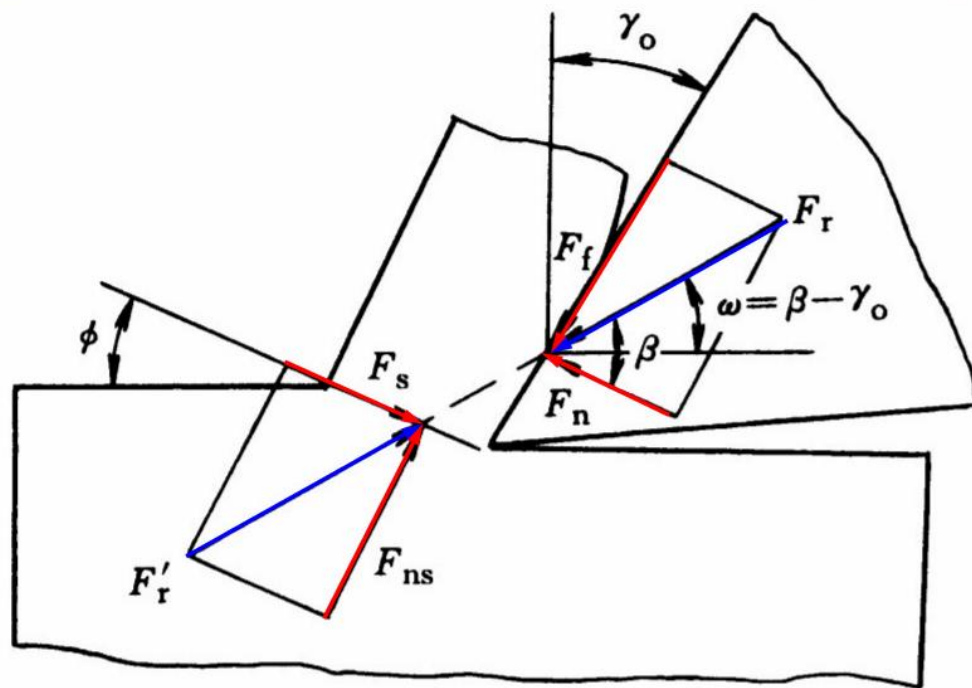
剪切角 $\varphi$   $\uparrow$   $\rightarrow$  剪切面积 $\downarrow$   $\rightarrow$  变形程度 $\downarrow$   $\rightarrow$  切削力 $\downarrow$ 。

## 2.1.4 前刀面与切屑间的摩擦

1. 作用在切屑上的力
2. 剪切角 $\phi$ 与前刀面摩擦角 $\beta$ 的关系
3. 前刀面与切屑间的摩擦

## 1. 作用在切屑上的力

- a) 切屑受到来自工件和刀具的作用力
- b) 切屑作为隔离体的受力分析

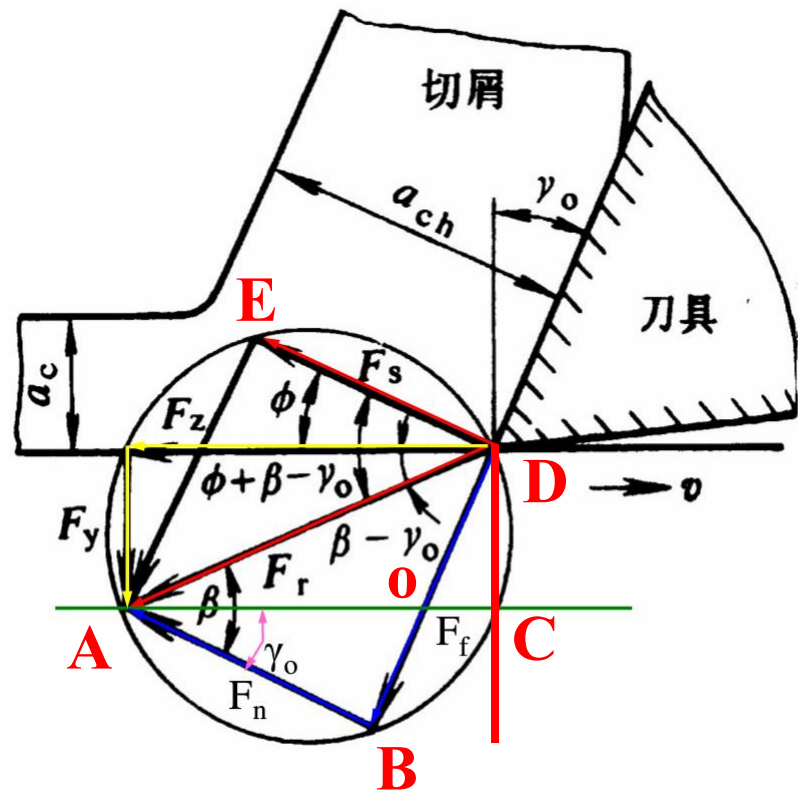


## 2. 剪切角 $\phi$ 与前刀面摩擦角 $\beta$ 的关系

根据材料力学原理：作用在切屑上的主应力的方向与最大剪应力方向之间的夹角为 $\pi/4$ ，可推得 Lee&Sheffer公式：

剪切角  $\Phi = \frac{\pi}{4} - \beta + \gamma_o$

$$\xi = \frac{\cos(\Phi - \gamma_o)}{\sin(\Phi)}$$





## 3. 前刀面与切屑间的摩擦

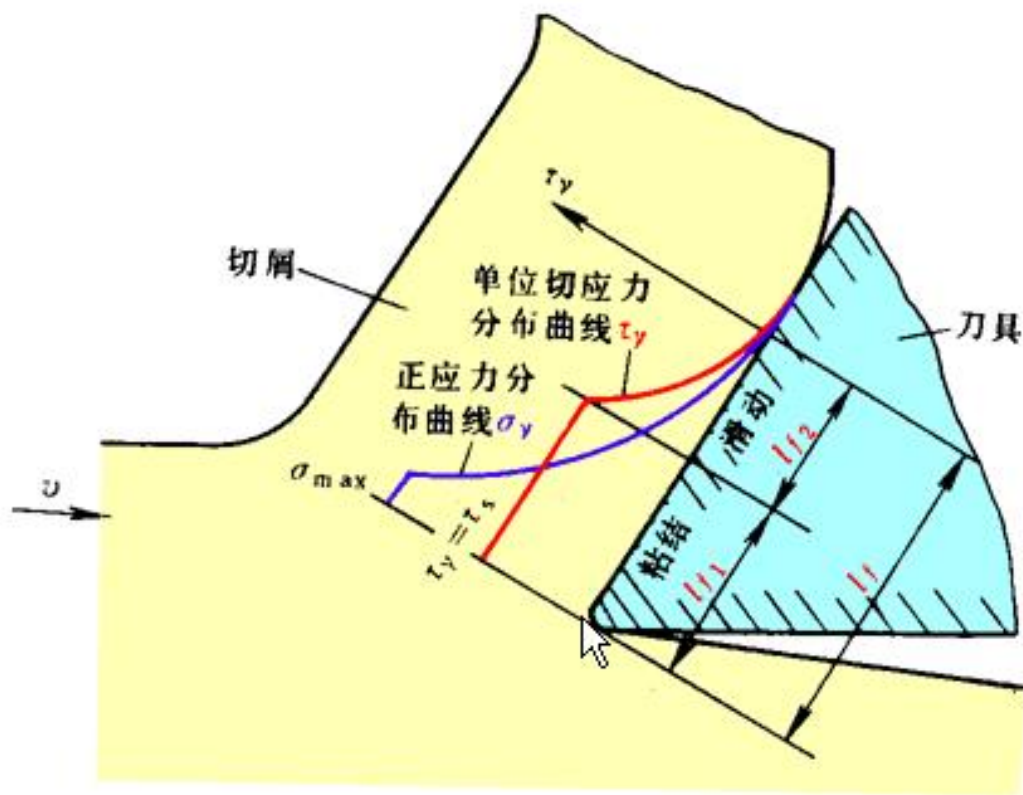


图 1-22 切屑和前刀面摩擦情况示意图

前面上的平均摩擦系数为：

$$\mu = \frac{F_f}{F_n} \approx \frac{\tau_s A_{f1}}{(\sigma_{ar} A_{f1})} = \frac{\tau_s}{\sigma_{ar}} = \tan \beta$$

$F_f$ —摩擦力

$F_n$ —正压力

$A_{f1}$ —内摩擦接触面积

$\sigma_{ar}$ —切削刃上的平均正应力

影响平均摩擦因数 $\mu$ 的主要因素：

(1) 工件材料：工件材料强度和硬度大时， $\mu$ 因切削温度上升而略微减小；

(2) 切削层公称厚度：切削层公称厚度增加时，正应力变大， $\mu$ 略微下降；

(3) 切削速度：低速区切削温度低，黏结少， $\mu$ 较小；速度升高，黏结紧密，使 $\mu$ 增大；温度（速度）进一步提高，材料塑性增加，滑移应力减小，使 $\mu$ 减小；

(4) 刀具前角：一定速度范围内，前角越大，正应力越小， $\mu$ 较大；

切削变形理论的三个重要公式：

$$\xi = \frac{\cos (\Phi - \gamma_o)}{\sin (\Phi)}$$

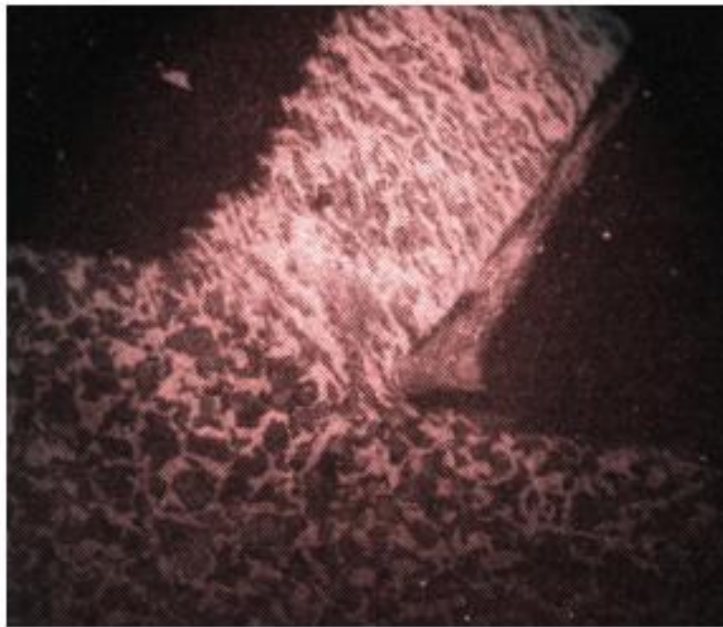
$$\Phi = \frac{\pi}{4} - \beta + \gamma_o$$

$$\operatorname{tg} \beta = \mu = \frac{\tau_s}{\sigma_{ar}}$$

## 2.1.5 积屑瘤形成及其对切削过程的影响

### 1. 现象（积屑瘤的定义）：

在中低速切削塑性金属材料时, 常在刀具前面刃口处粘结一些工件材料, 形成一块硬度很高的楔块, 称之为积屑瘤。





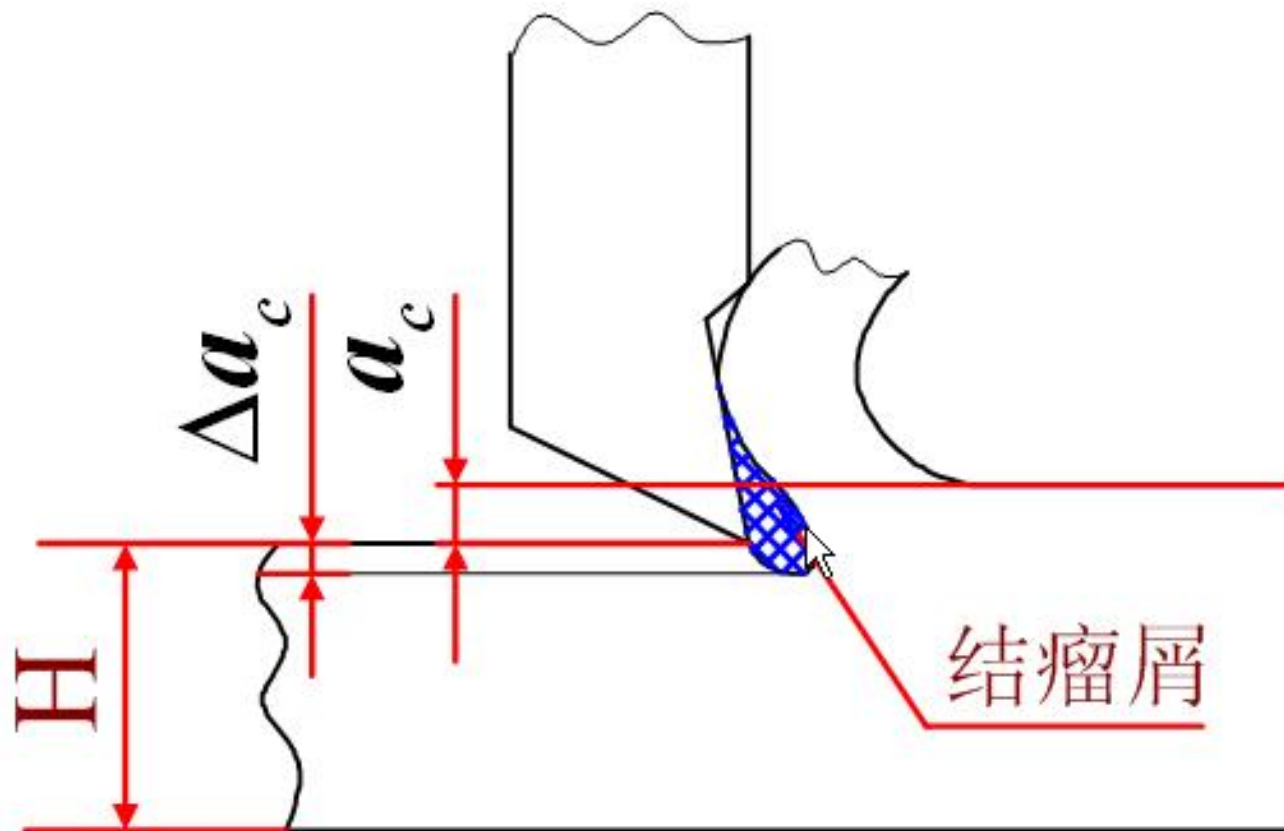
## 2. 形成原因

在**中低速**切削**塑性金属材料**时，刀-屑接触表面由于强烈的挤压和摩擦而成为**新鲜表面**，两接触表面的**金属原子**产生强大的吸引力，**少量切屑金属**粘结在前刀面上，产生了冷焊，并加工硬化，形成瘤核。瘤核逐渐长大成为积屑瘤，**且周期性地成长与脱落**。

## 3. 积屑瘤对切削过程的影响

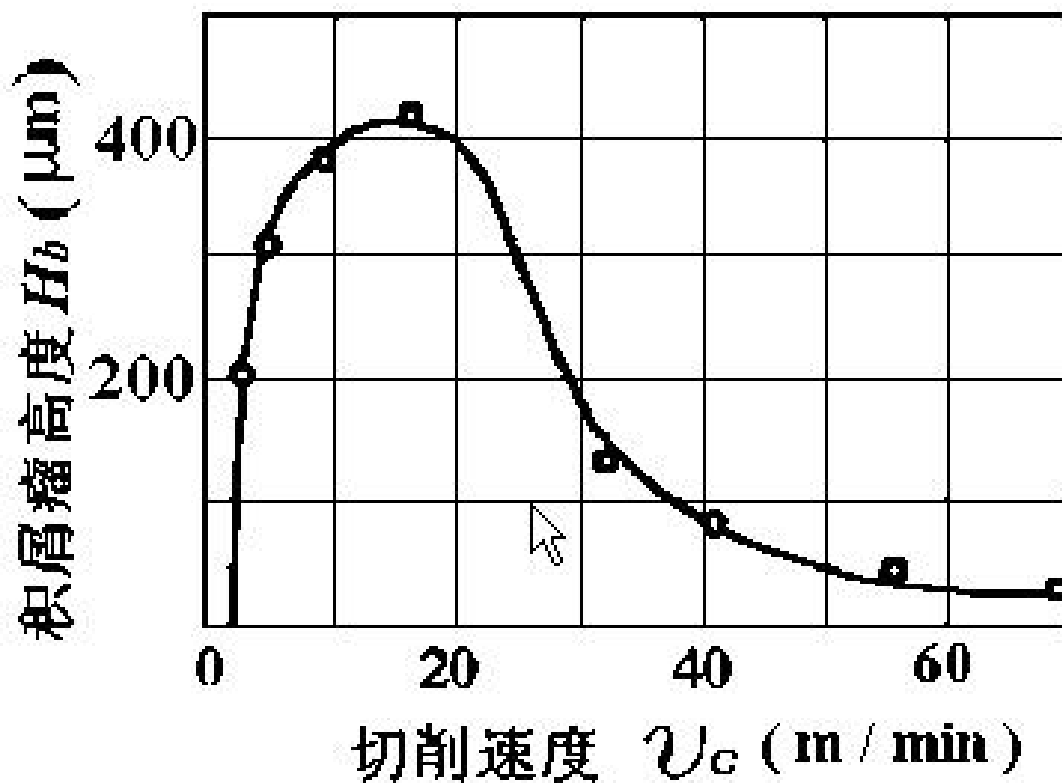
- (1) **增大前角**：积屑瘤有30度左右的前角。故可减小切屑变形，降低切削力。
- (2) **影响刀具耐用度**：积屑瘤可代替切削刃前刀面进行切削，从而减少刀具磨损，起到保护刀具的作用。
- (3) **增大切入深度**：积屑瘤伸出切削刃之外，切屑厚度增大，影响加工尺寸。
- (4) **增大已加工表面的粗糙度**

**积屑瘤对粗加工有利，生产中应加以利用；对精加工不利，应以避免。**



## 4. 避免产生或减小积屑瘤的措施

- 采用低速或高速切削；由于切削速度是通过切削温度影响积屑瘤的，以切削45钢为例，在低速 $v_c < 3\text{m/min}$ 和较高速度 $v_c \geq 60\text{m/min}$ 范围内，摩擦系数都较小，故不易形成积屑瘤；
- 采用高润滑性的切削液，使摩擦和粘结减少；
- 适当减少进给量、增大刀具前角；
- 适当提高工件材料的硬度；
- 提高刀具的刃磨质量；
- 合理调节各切削参数间关系，以防止形成中温区域。



积屑瘤高度与切削速度关系示意图



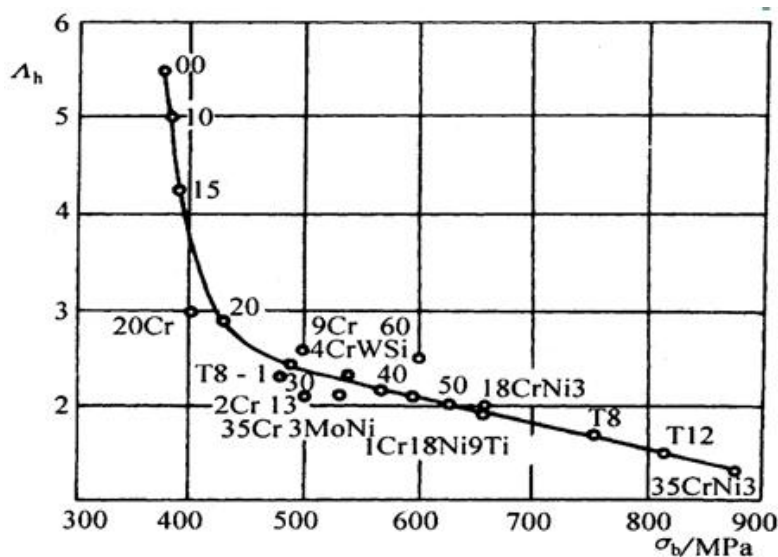
## 2.1.6 影响切屑变形的主要因素

1. 工件材料
2. 刀具前角
3. 切削速度
4. 切削层公称厚度：进给量

## 1. 工件材料

(1) 工件材料强度、硬度越大，切屑变形越小

**原因：**强度、硬度越大 $\rightarrow$ 切削力 $F_n$ 增大 $\rightarrow\sigma_{ar}$ 增大 $\rightarrow\mu$ 减小（ $\beta$ 减小）  
 $\rightarrow\Phi$ 增加 $\rightarrow\xi$ 减小



(2) 工件材料塑性越大，切屑变形越大

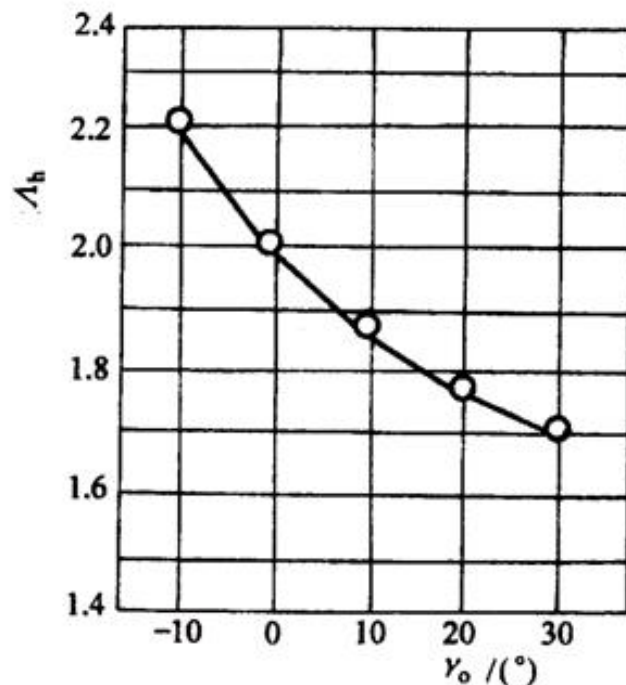
## 2. 刀具前角

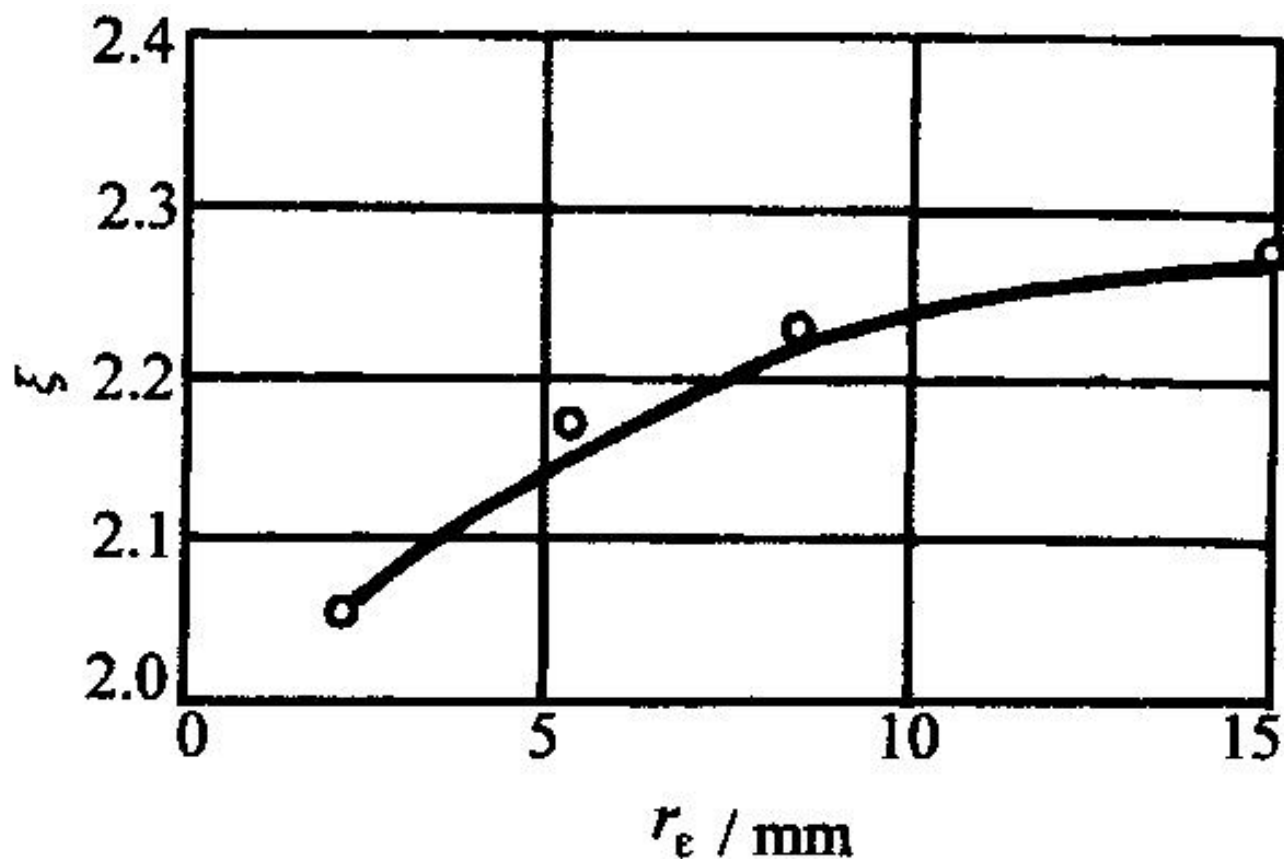
(1) 刀具前角 $\gamma_o$ 增大，则切屑变形减小

原因：

一方面： $\gamma_o$ 增加 $\rightarrow \Phi$ 增大 $\rightarrow \xi$ 较大幅度减小

二方面： $\gamma_o$ 增加切屑流动阻力减小，切削变形小





刀尖圆弧半径对变形系数的影响

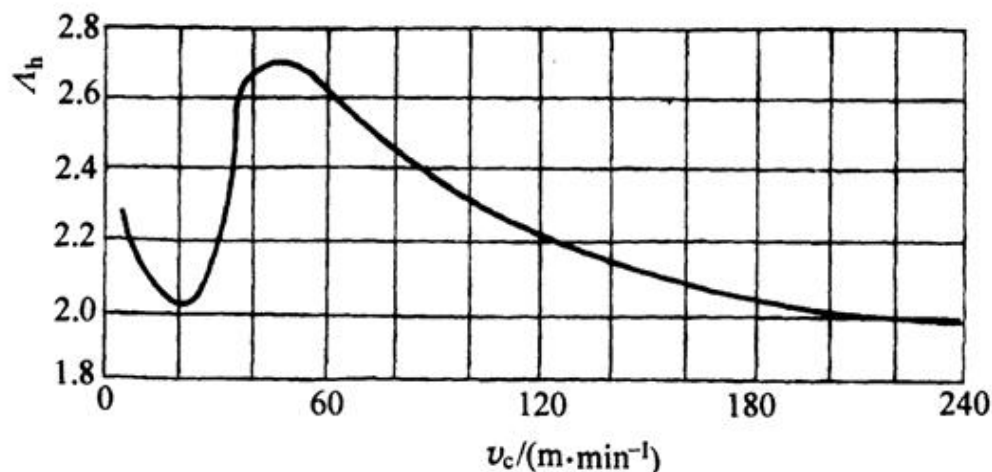
## 3. 切削速度

(1) 在无积屑瘤的速度范围内，速度越大，变形越小

原因：

一方面：速度较高时，第一变形区后移，使 $\Phi$ 变大，变形减小；

二方面： $v$ 增加 $\rightarrow$ 切削温度升高 $\rightarrow$ 材料的剪切强度 $\tau_s$ 下降 $\rightarrow \mu$ 减小（ $\beta$ 减小） $\rightarrow \Phi$ 增大 $\rightarrow \xi$ 减小



## 3. 切削速度

### (2) 在有积屑瘤的速度范围内

**原因：**切削速度通过影响积屑瘤所形成的实际前角，影响切削变形

**积屑瘤生长阶段：**实际前角变大，使 $\phi$ 变大，变形减小；

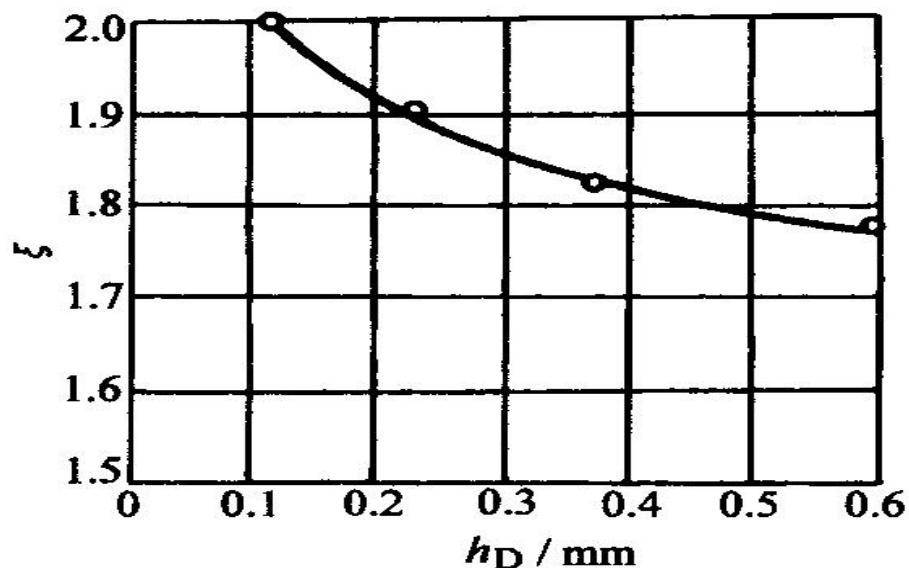
**积屑瘤消退阶段：**实际前角变小，使 $\phi$ 变小，变形变大；

## 4. 切削层公称厚度

(1) 公称厚度增加，变形减小

原因：

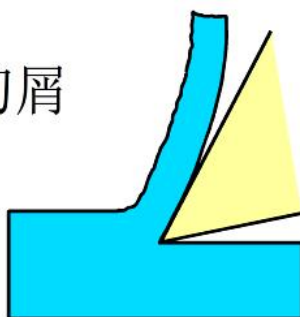
公称厚度增加  $\rightarrow$   $F_n$  增大  $\rightarrow$   $\sigma_{ar}$  增大  $\rightarrow$   $\mu$  减小 ( $\beta$  减小)  $\rightarrow$   $\Phi$  增大  $\rightarrow$   $\xi$  减小



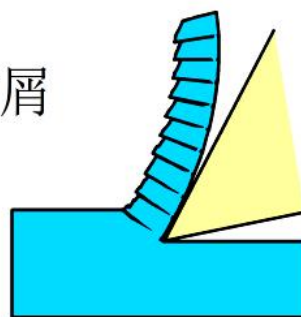
## 2.1.7 切屑类型

### 1、切屑的类型

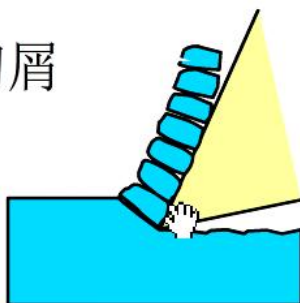
带状切屑



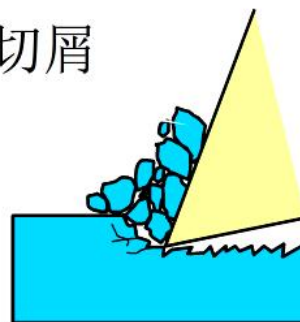
挤裂切屑



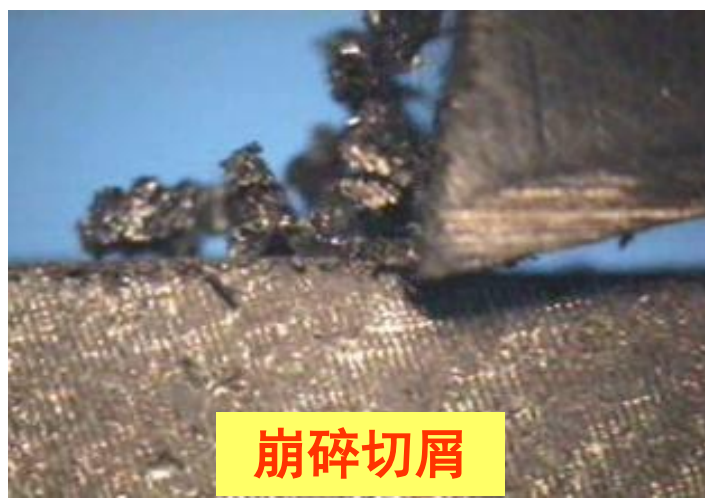
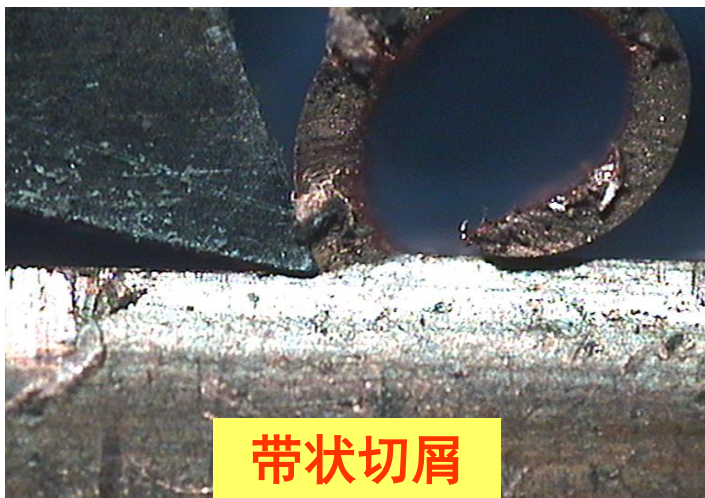
单元切屑



崩碎切屑







切屑形态照片

**带状切屑** 最常见的屑型之一。

外形特征：它的内表面是光滑的，外表面是毛茸茸的。

形成条件：一般加工塑性金属材料，当切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大时，会得到此类切屑。

优点：切削过程平稳，切削力波动较小，已加工表面粗糙度较小。

缺点：紊乱状切屑缠绕在刀具或工件上影响加工过程。

**挤裂(节状)切屑**

外形特征：刀屑接触面有裂纹，外表面是锯齿形。

形成条件：这类切屑之所以呈锯齿形，是由于它的第一变形区较宽，在剪切滑移过程中滑移量较大。大多在低速、大进给、切削厚度较大、刀具前角较小时产生。

## 单元(粒状)切屑

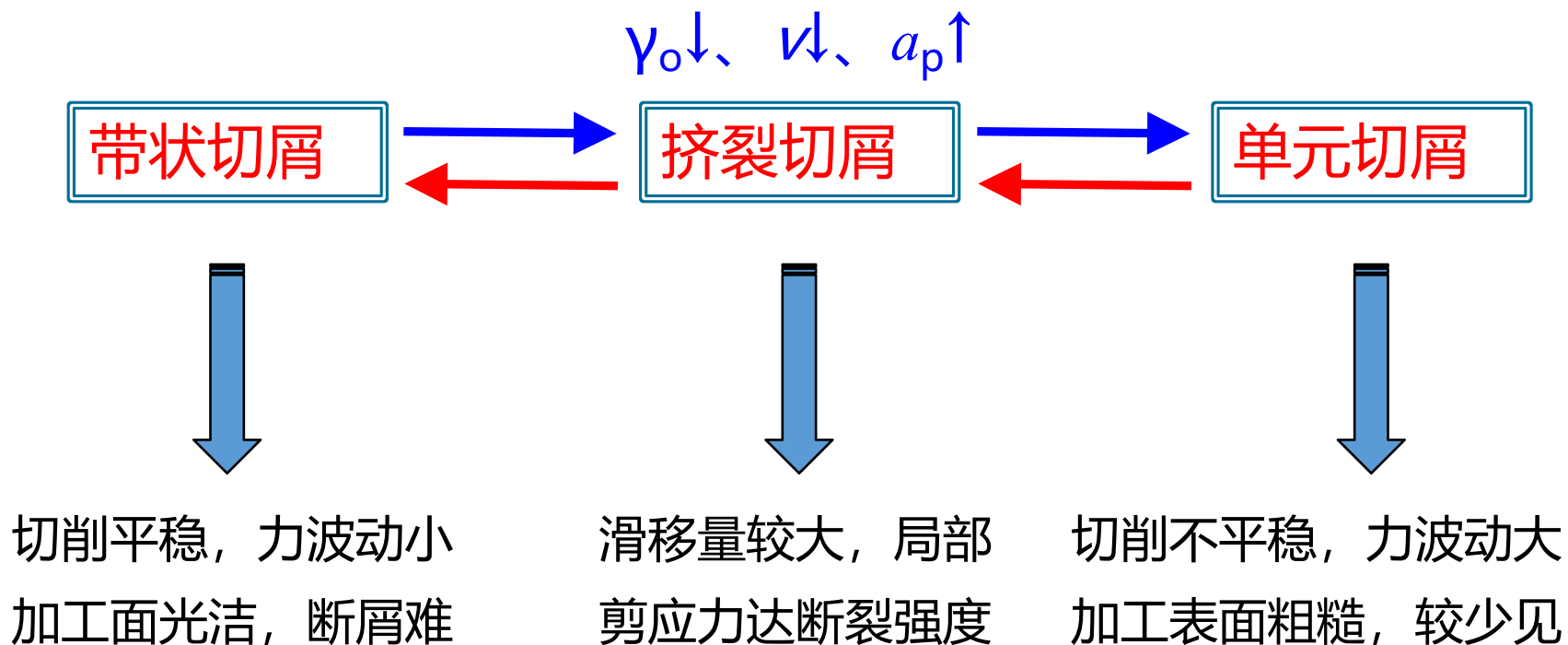
在挤裂(节状)切屑产生的前提下, 当进一步降低切削速度, 增大进给量, 减小前角时则出现单元(粒状)切屑。

## 崩碎切屑

切削脆性金属(铸铁)时, 常见的呈不规则细粒状的切屑。产生这种切屑会使切削过程不平稳, 易损坏刀具, 使已加工表面粗糙。工件材料越是脆硬、进给量越大则越容易产生这种切屑。

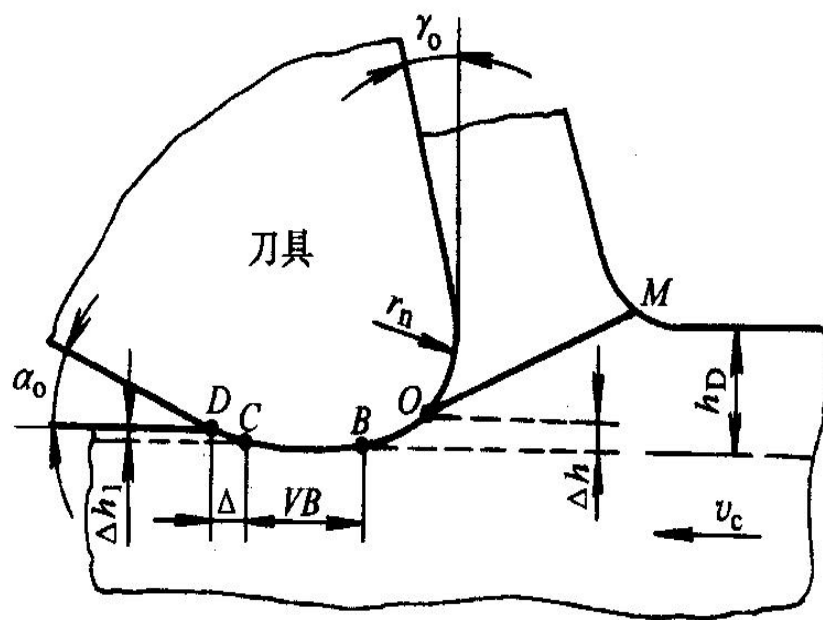
## 切屑形态的转换

### 切削塑性材料

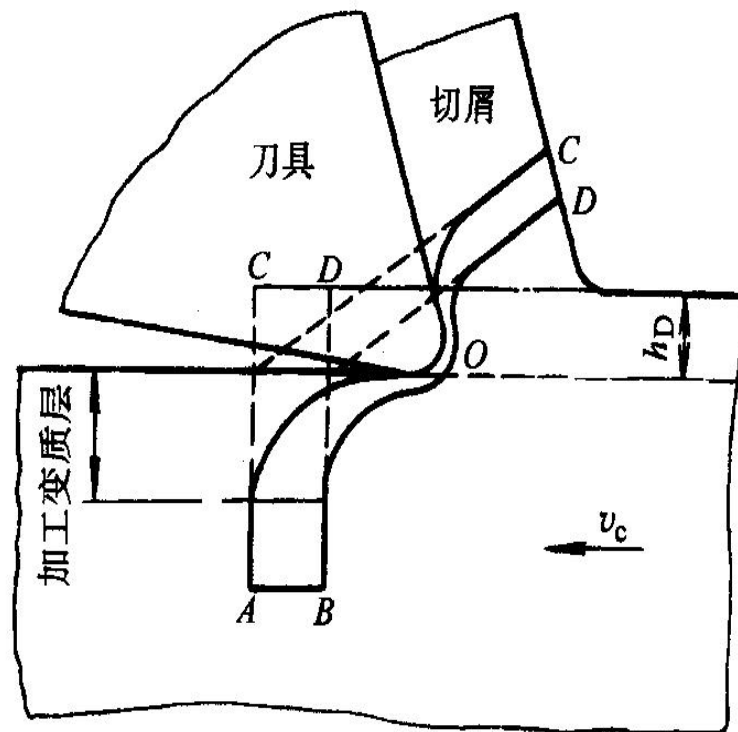


## 2.1.8 已加工表面的形成过程

- ◆ 已加工表面的形成与第三变形区的关系密切；
- ◆ 刀具刃口钝圆半径及刃口磨损形成的磨损棱面，会使已加工表面产生剧烈的塑性变形。
- ◆ 表层剧烈的塑性变形造成已加工表面加工硬化及表面层的残余应力。
- ◆ 加工硬化和残余应力的存在，会影响已加工表面的质量和工件的疲劳强度，并增加了下道工序加工的困难及刀具磨损。
- ◆ 钝圆半径的大小取决于刀具材料、楔角大小、刃磨质量等因素。



a)



b)

已加工表面的形成过程

## 鳞 刺

