



河海大学  
HOHAI UNIVERSITY

机电工程学院

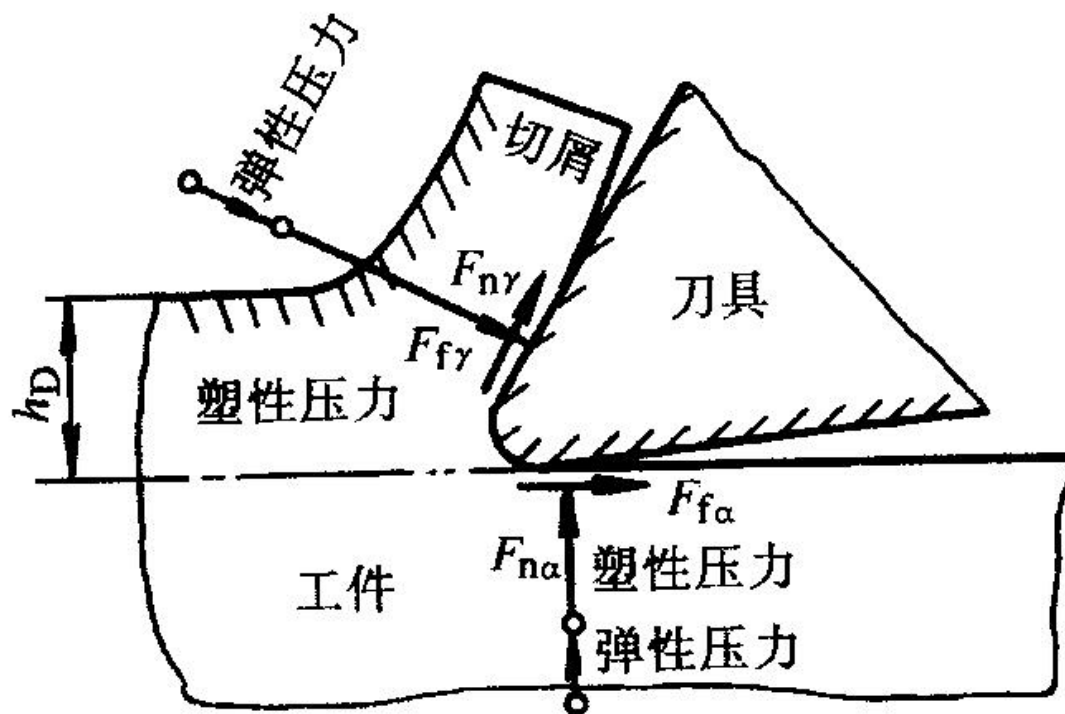
# 第一章 切削与磨削过程

## 1.3 切削力

### 1.3.1 切削力的来源、切削合力及分力

#### 1. 切削力的来源

- ◆ 切削层金属、切屑、工件表面层金属的弹性变形；
- ◆ 塑性变形产生的抗力；
- ◆ 刀具与切屑、工件表面间的摩擦阻力。



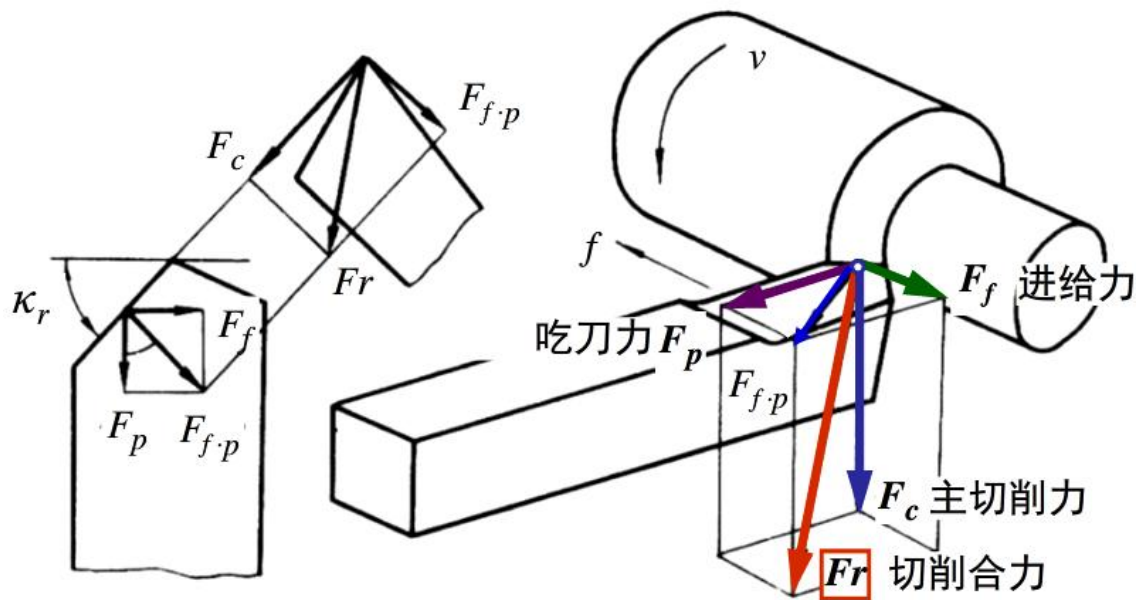
切削力的来源

切削合力 = 切削变形抗力 + 摩擦阻力

## 2. 切削合力及其分解

通常将合力 $F$ 分解为相互垂直的三个分力：切削力  $F_c$ 、进给力  $F_f$ 、背向力  $F_p$ 。

- ◆ 切削力  $F_z(F_c)$ ：（旧称主切削力，用 $F_z$ 表示）——总切削力在主运动方向的分力，是计算机床切削功率、选配机床电机、校核机床主轴、设计机床部件及计算刀具强度等必不可少的参数。
- ◆ 背向力  $F_y(F_p)$ ：旧称径向分力，用 $F_y$ 表示——总切削力在垂直于工作平面方向的分力，是进行加工精度分析、计算工艺系统刚度以及分析工艺系统振动时，所必须的参数。
- ◆ 进给力  $F_x(F_f)$ ：旧称轴向分力，用 $F_x$ 表示——总切削力在进给方向的分力，是设计、校核机床进给机构，计算机床进给功率不可缺少的参数。



切削力的分解

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_D^2} = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

$$F_f = F_{f \cdot p} \sin \kappa_r$$

$$F_p = F_{f \cdot p} \cos \kappa_r$$

## 3. 切削功率

概念：力和力方向上的运动速度的乘积。

计算切削功率  $P_c$  是用于核算加工成本和计算能量消耗，并在设计机床时根据它来选择机床主电动机功率。

主运动消耗的切削功率  $P_c = F_c v_c / 60 \times 10^{-3}$  (kW)

机床电机功率  $P_E = P_c / \eta_m$  ( $\eta_m = 0.75 \sim 0.85$ ) 。

车削过程中的力：

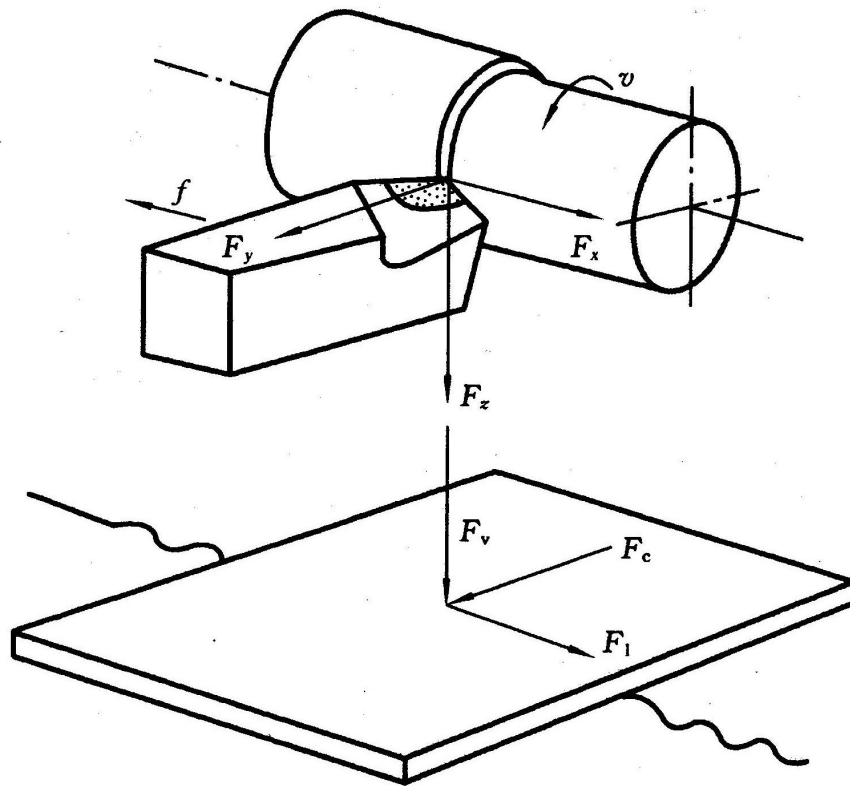
$$F_z = \frac{P_E \eta_m}{v} \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_z : F_x : F_y = 1 : 0.25 : 0.4$$

$$F_v = F_z$$

$$F_1 = F_x$$

$$F_c = F_y$$



车削抗力及进给托板上的载荷

## 1.3.2 切削力计算

### 1. 切削力的理论公式

切削力的理论法：定性分析

$$F_c = \tau_s h_D b_D (1.4\xi + C) = \tau_s a_p f (1.4\xi + C)$$

C: 与前角相关的系数

### 2. 计算切削力的指数公式

切削力的指数公式：定量分析

$$F = C \bullet a_p^X \bullet f^Y \bullet v_c^Z \bullet K$$



## 3. 计算切削力的指数公式

$$F_c(F_z) = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v_c^{n_{F_c}} \cdot K_{F_c}$$

$$F_p(F_y) = C_{F_p} \cdot a_p^{x_{F_p}} \cdot f^{y_{F_p}} \cdot v_c^{n_{F_p}} \cdot K_{F_p}$$

$$F_f(F_x) = C_{F_f} \cdot a_p^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \cdot v_c^{n_{F_f}} \cdot K_{F_f}$$

$$K_{F_c} = K_{\kappa_r F_c} \cdot K_{\gamma_o F_c} \cdot K_{\lambda_s F_c} \cdot K_{VBF_c} \cdot K_{r_\varepsilon F_c} \cdots$$

## 6. 切削力的测量

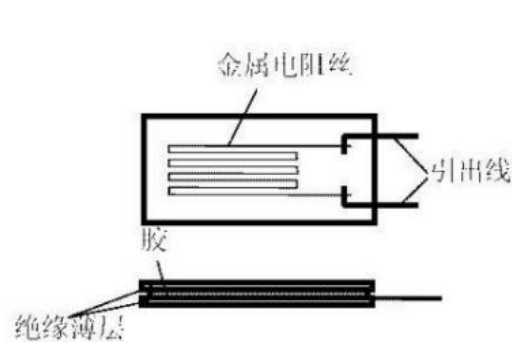


图 2-43 电阻应变片

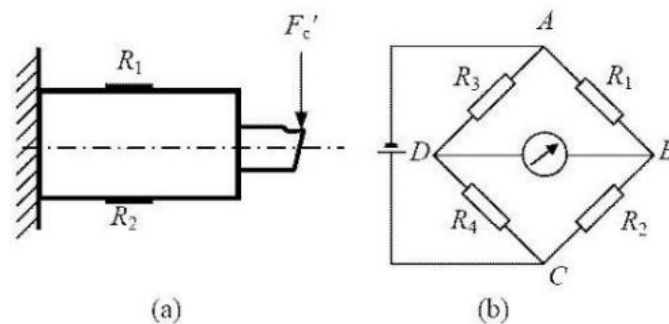
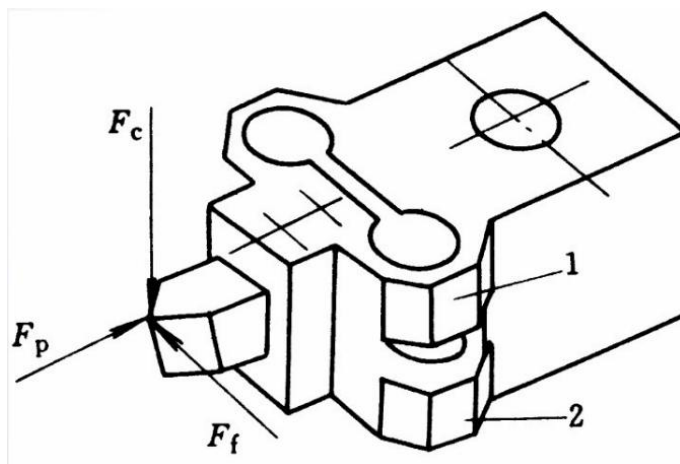


图 2-44 弹性元件上的电阻应变片组成电桥



八角环式三向车削测力仪

## 4. 单位切削力公式

$$F_c = k_c A_D = k_c a_p f \quad (\text{N})$$

## 5. 单位面积切削力公式

切削力与切削层工程横截面积之比

$$K_c = F_c / A_D \quad (\text{N/mm}^2)$$

## 1.3.3 影响切削力的因素

1. 工件材料的影响
2. 切削用量的影响
3. 刀具几何参数的影响
4. 其他因素的影响
5. 刀具材料的影响
6. 刀具磨损的影响
7. 切削液的影响

### 1. 工件材料的影响

- (1) 工件材料强度硬度越高, 切削力越大, 但不存在比例关系。
- (2) 强度硬度相近, 则塑性大, 切削力增大。
- (3) 相同条件下, 切削脆性材料时的切削力小于切削塑性材料时的切削力。

## 2. 切削用量的影响

背吃刀量和进给量增大，切削力增大,但两者对切削力增大的影响程度不一样。

(1) 背吃刀量加大，变形系数不变，切削力成正比增大；

(2) 进给量加大，变形系数减小，摩擦系数减小，切削力不成正比增大；

切削速度:

(1) 在中高速下切削塑性金属时，切削力一般随切削速度的增大而减小；

(2) 切削脆性金属时，切削速度对切削力无显著影响。

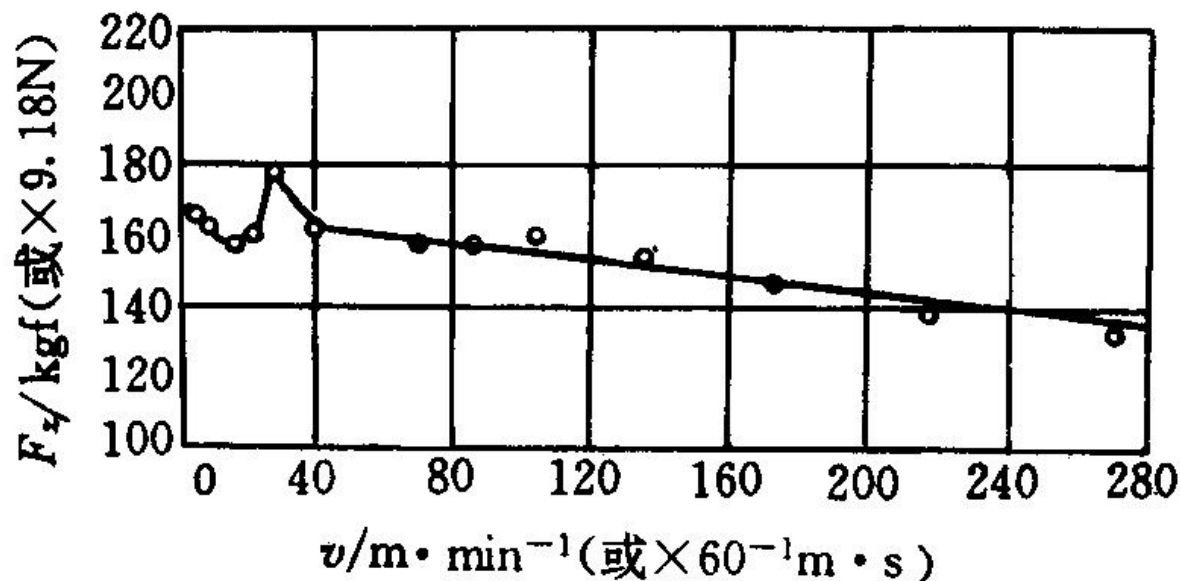


图 3-20 切削速度对切削力的影响

工件材料:45 钢(正火),HB=187;刀具:外圆车刀,YT15;

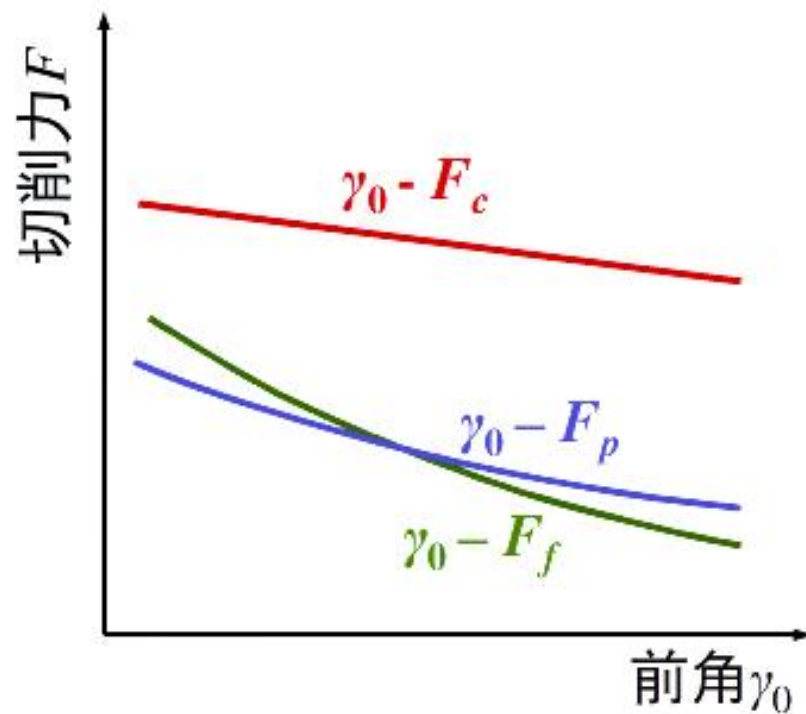
刀具几何参数: $\gamma_0=18^\circ$ , $\alpha_0=6^\circ \sim 8^\circ$ , $\alpha'_0=4^\circ \sim 6^\circ$ , $\kappa_r=75^\circ$ ,

$\kappa'_r=10^\circ \sim 12^\circ$ , $b_{\gamma_1}=0^\circ$ , $r_s=0$ , $r_\epsilon=0.2\text{mm}$ ;

切削用量: $a_p=3\text{mm}$ , $f=0.25\text{mm/r}$

### 3. 刀具几何参数的影响

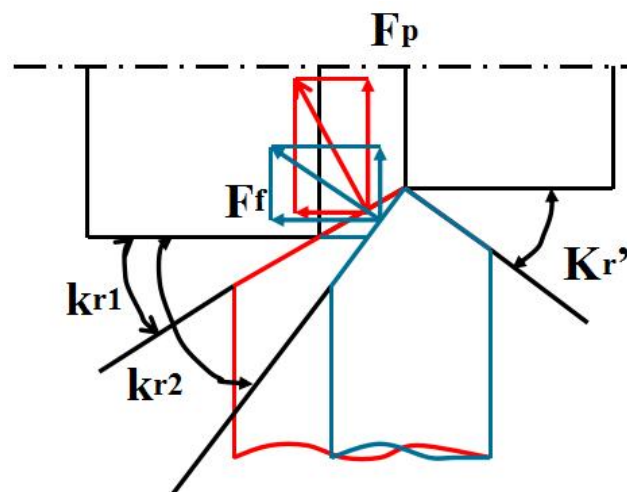
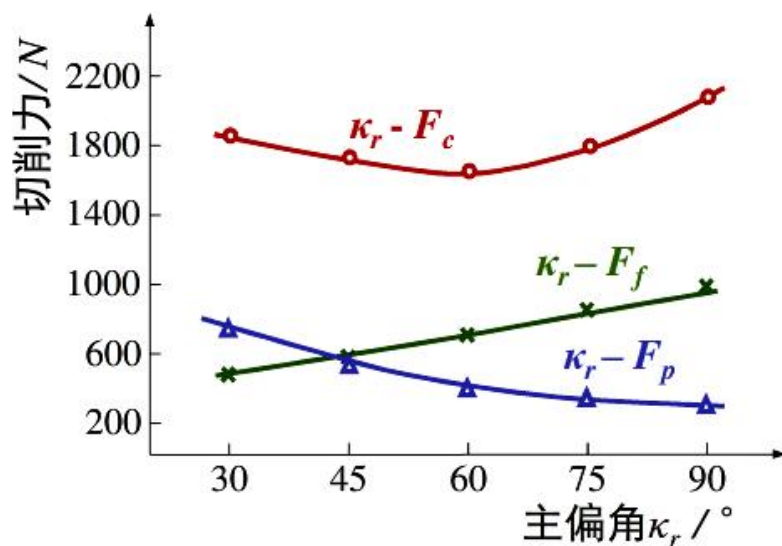
◆ 前角的影响:  $\gamma_0 \uparrow \rightarrow$  切屑变形  $\downarrow \rightarrow$  切削力  $\downarrow$ 。 (塑性材料)



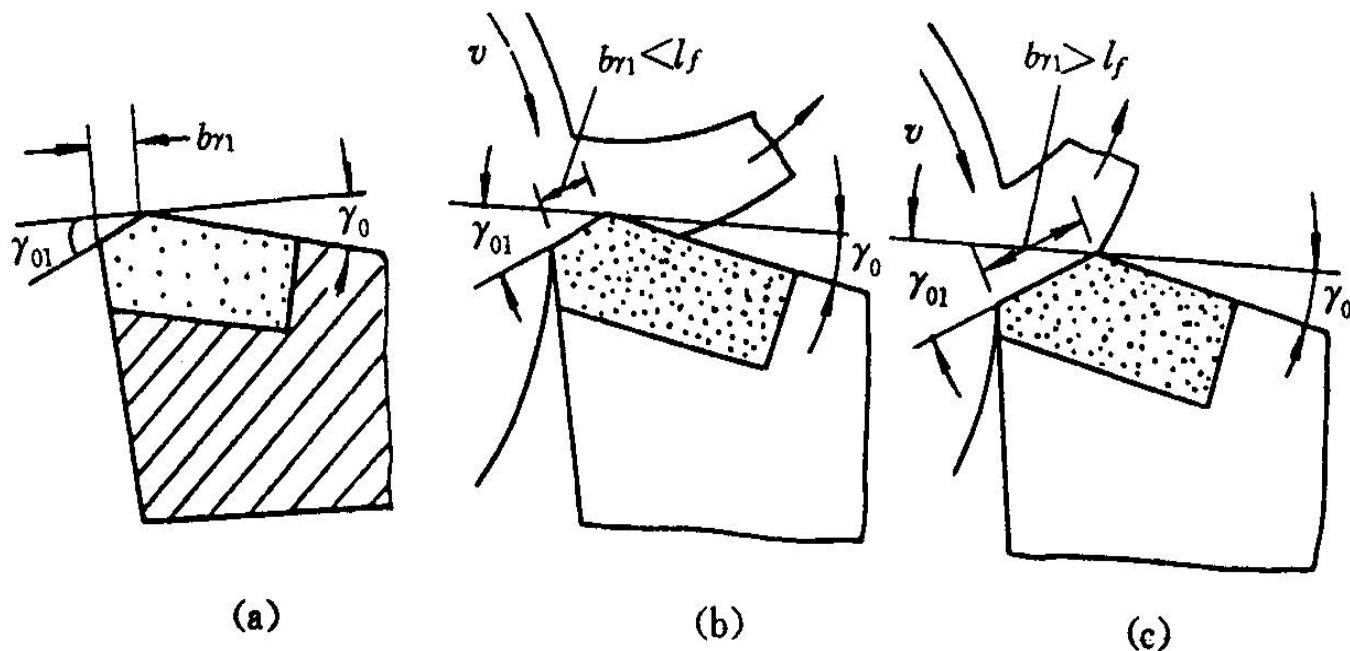


## ◆ 主偏角的影响:

对主切削力影响不大，对吃刀抗力和进给抗力影响显著。  
 $K_r \uparrow \rightarrow F_p \downarrow, F_f \uparrow$



- ◆ **负倒棱的影响**：负倒棱参数大大提高了正前角刀具的刃口强度，但同时也增加了负倒棱前角(负前角)参加切削的比例，负前角的绝对值  $\uparrow \rightarrow$  切屑变形程度  $\uparrow \rightarrow$  切削力  $\uparrow$ ；



负倒棱对切削力的影响

### ◆ 刃倾角 $\lambda_s$ 的影响：

刃倾角 $\lambda_s$ 对主切削力影响不大，对吃刀抗力和进给抗力影响显著。

$$\lambda_s \uparrow \rightarrow F_p \downarrow, F_f \uparrow, F_c \text{基本不变}$$

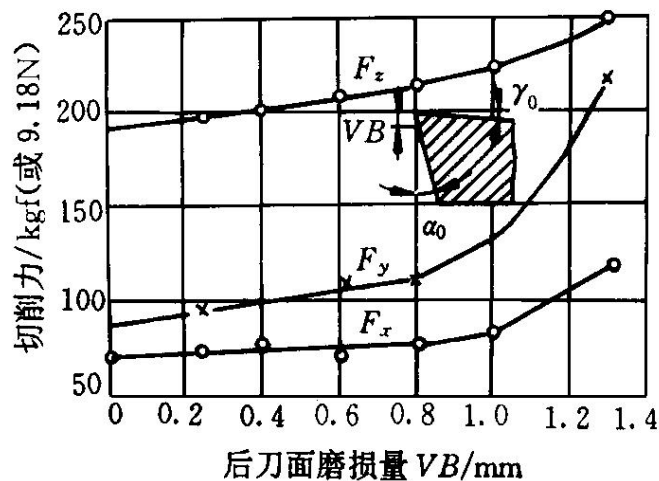
### ◆ 刀尖圆弧半径 $r_\epsilon$ 的影响：

$r_\epsilon \uparrow \rightarrow$ 切削刃圆弧部分的长度 $\uparrow \rightarrow$ 切削变形 $\uparrow \rightarrow$ 切削力 $\uparrow$   
(不显著)

$$r_\epsilon \uparrow \rightarrow F_p \uparrow, F_f \downarrow$$

## 4. 其他因素影响

- ◆ 刀具材料：与工件材料之间的亲和性影响其间的摩擦，而影响切削力。
- ◆ 后刀面磨损：使切削力增大，对吃刀抗力 $F_p$  ( $F_y$ ) 影响最为显著。



## ◆ 切削液

冷却作用的切削液：影响小

润滑作用的切削液：切削力下降