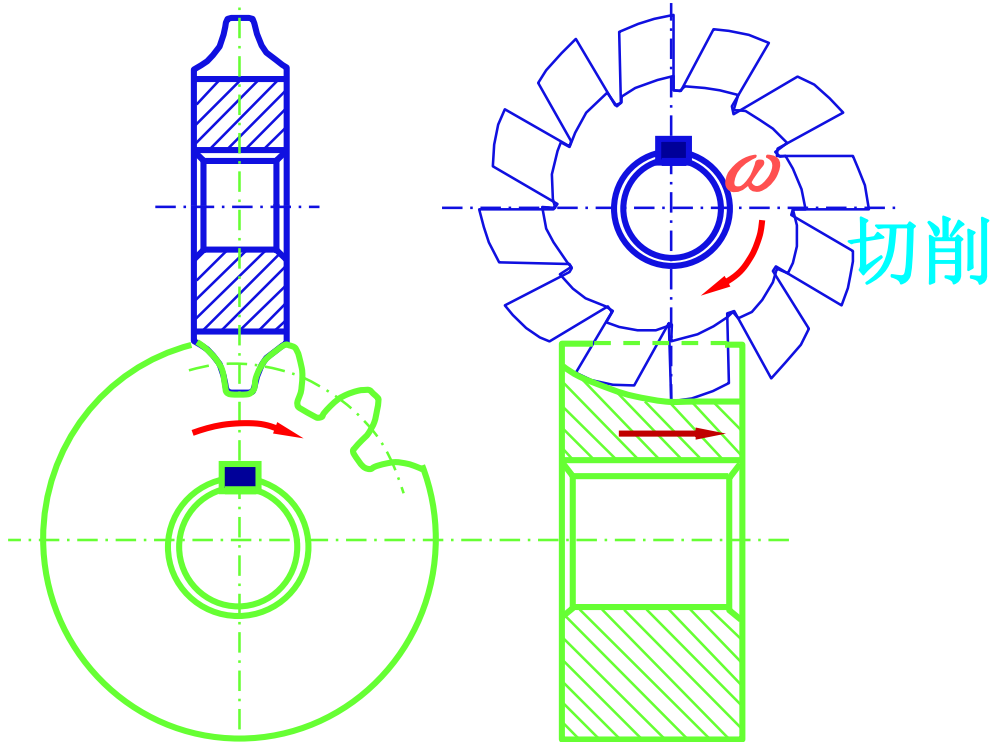
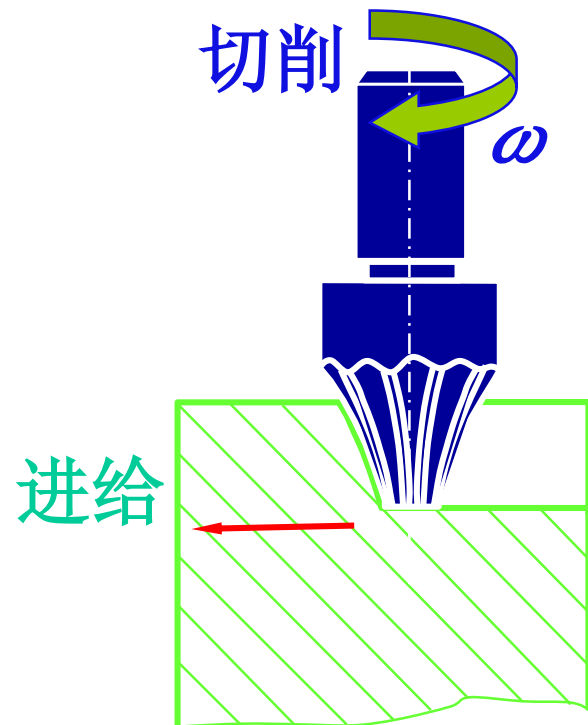


8.5 渐开线齿轮的切削加工

8.5.1 仿形法 **定义：** 利用渐开线齿形的成形铣刀将被加工齿轮齿槽部分材料铣掉来切制齿形的齿轮加工方法



盘状铣刀加工



指状铣刀加工

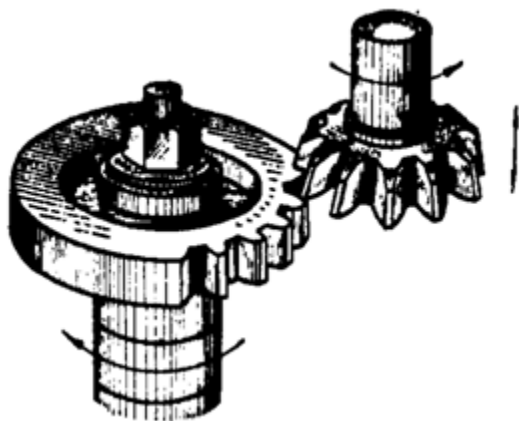
仿形法加工的优点：加工方法简单,不需要专用机床

缺点：精度难以保证，生产效率低

8.5.2 展成法

(1) 齿轮插刀

定义： 利用一对齿轮无侧隙啮合使两轮的齿廓互为包络线的原理加工齿形的齿轮加工方法

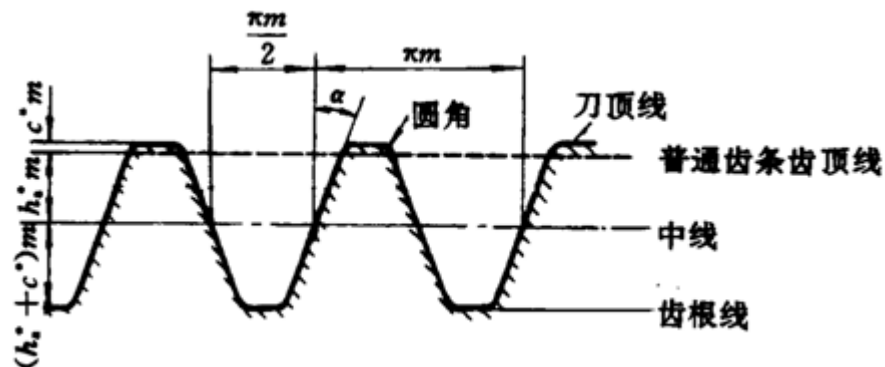
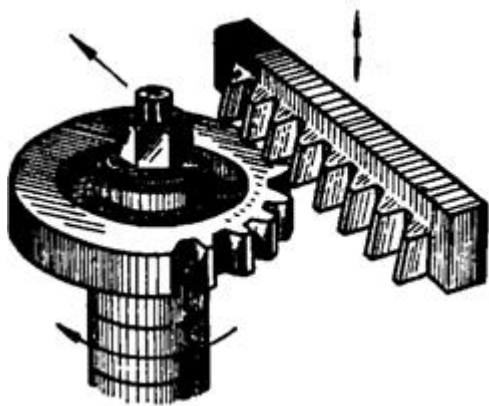


齿轮插刀



展成法加工原理

(2) 齿条插刀

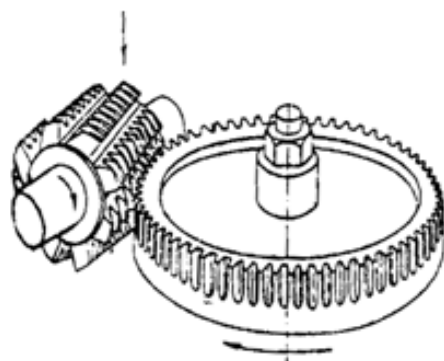


齿条插刀切齿

齿条插刀齿廓

插齿加工过程为断续切削，生产效率低。

(3) 滚齿加工



滚齿加工过程为连续切削，生产效率高。

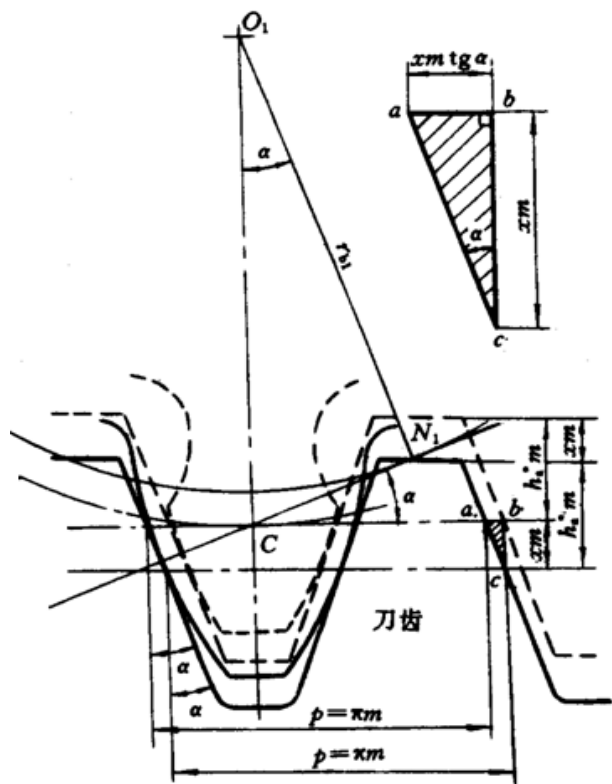
8.6 根切现象、最少齿数及变位齿轮的概念

8.6.1 根切现象和最少齿数

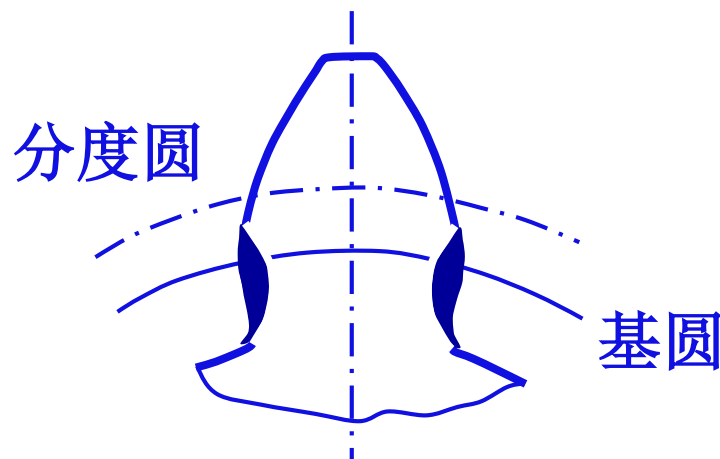
用展成法加工齿轮时，刀具的齿顶线将会超过理论啮合线的上界点 N_1 ，这时被加工齿轮的齿根部渐开线齿廓将被刀具的齿顶切去一部分。

根切的后果：

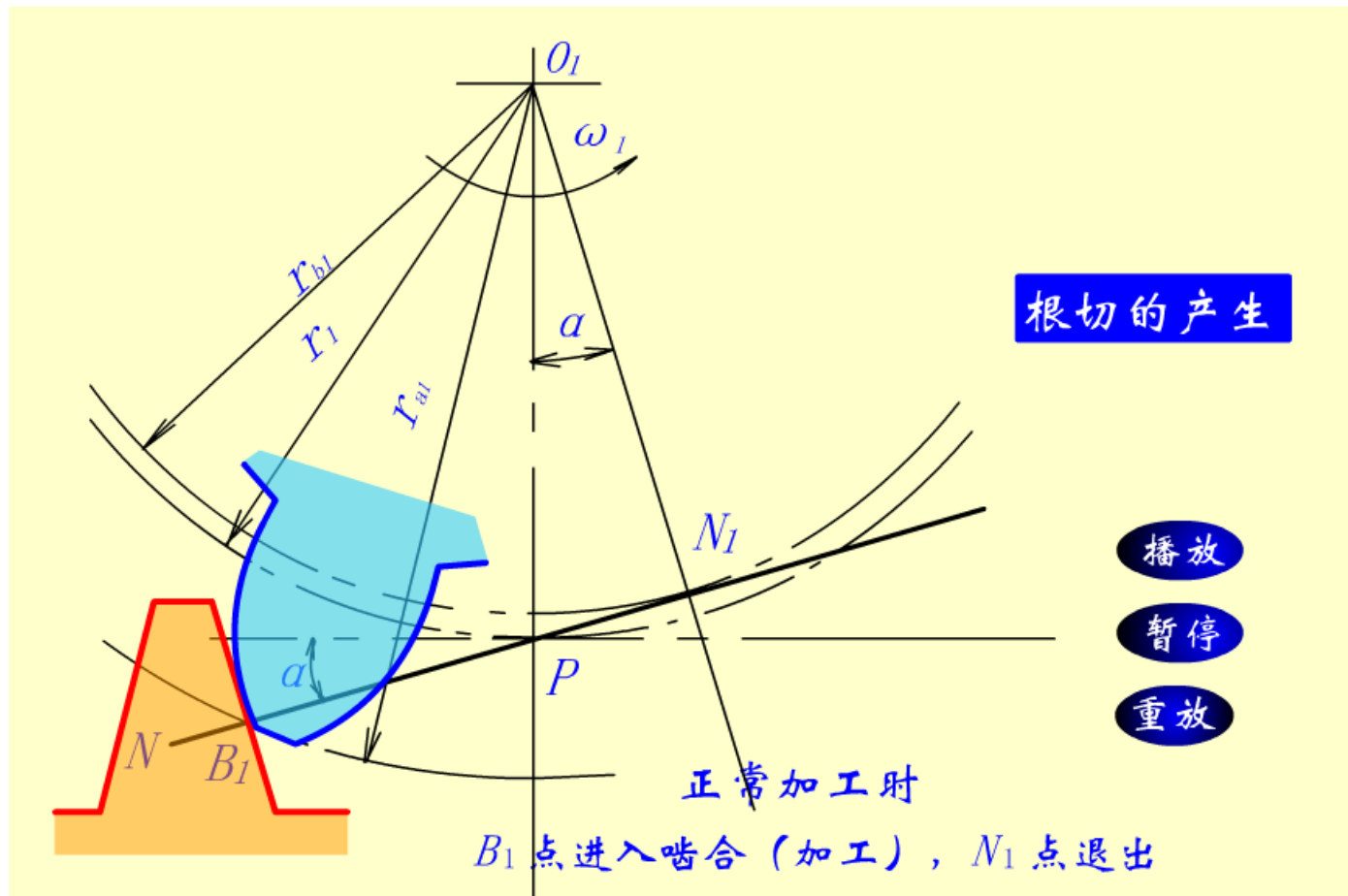
- ①削弱轮齿的抗弯强度；
- ②使重合度 ε 下降。



根切的产生



根切现象



根切现象动画

渐开线直齿圆柱齿轮，不发生根切的最少齿数：

$$z_{\min} = 2 h_a^* / \sin^2 \alpha$$

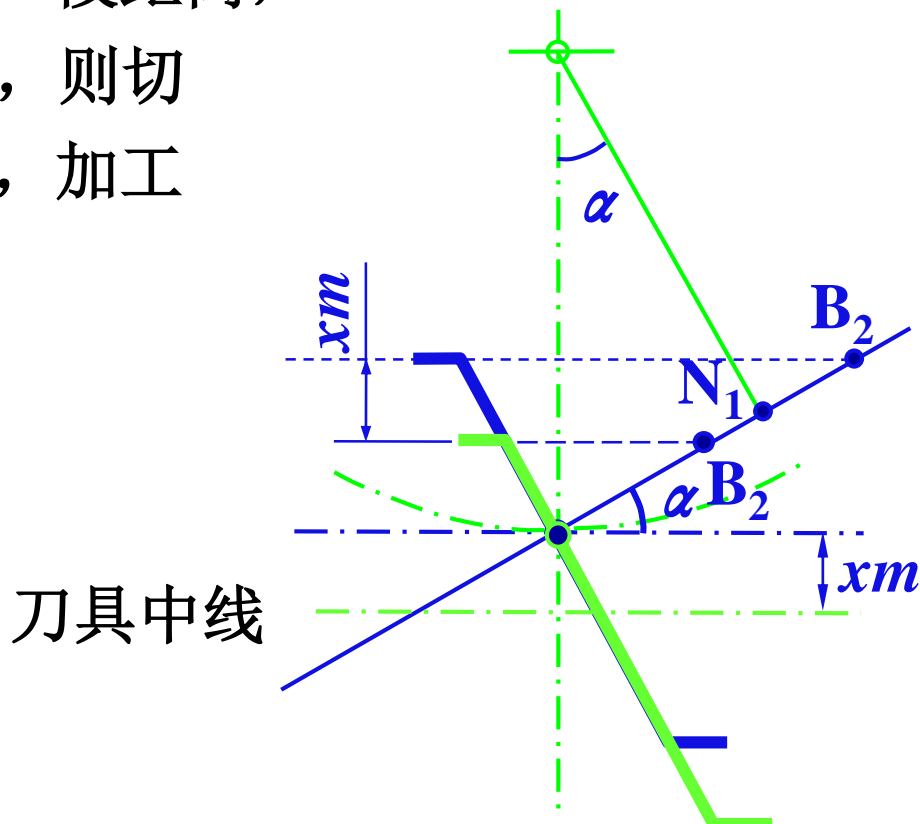
对标准直齿圆柱齿轮， $z_{\min} = 17$

8.6.2 变位齿轮的概念

标准齿轮----若齿条刀具的中线与轮坯的分度圆相切，加工出来的齿轮分度圆齿厚等于齿槽宽

变位齿轮----若齿条刀具的中线与轮坯的分度圆不相切，加工出来的齿轮分度圆齿厚不等于齿槽宽

例：将齿条插刀远离轮心一段距离，齿顶线不再超过极限点 N_1 ，则切出来的齿轮不会发生根切，加工出 $z < z_{\min}$ 的齿轮



8.7 齿轮传动设计概述

8.7.1 齿轮传动的失效形式

1. 轮齿折断

(1) 轮齿过载折断——载荷过大或脆性材料

(2) 轮齿疲劳折断——齿轮根部产生以弯曲应力为主的交变应力

2. 齿面磨损

开式齿轮的主要失效形式

类型——齿面磨粒磨损

3. 齿面点蚀

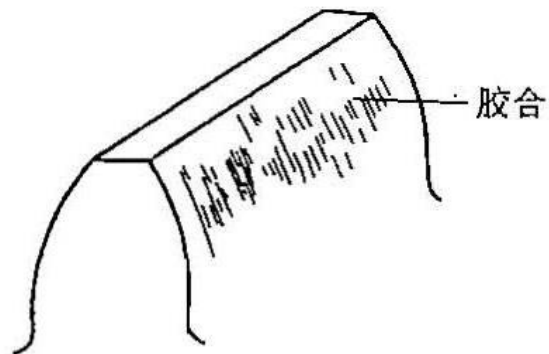
点蚀——齿面在过大的交变接触应力反复作用下，在表面产生微裂纹并扩展成麻点状凹坑。

软齿面闭式齿轮传动常因点蚀而失效。



4. 齿面胶合

胶合——高速、重载→摩擦高温
→油膜破裂→啮合齿面粘结→撕开→沿滑动方向的沟痕。



5. 塑性变形

齿面硬度较低、过大的摩擦力作用下，产生沿摩擦力方向的齿面材料的塑性流动，从而使齿面正确轮廓曲线被损坏。

8.7.2 齿轮传动的设计准则

齿轮传动设计时，应首先按主要**失效形式**进行齿面接触强度及齿根弯曲强度计算，确定其主要尺寸，然后对其他失效形式进行必要的校核。

8.7.3 常用齿轮材料及热处理

1. 锻钢

优点：强度高、韧性好、便于制造、热处理
如软齿面齿轮

2. 铸钢

用于尺寸较大齿轮，需正火和退火以消除铸造应力

3. 铸铁

抗冲击和耐磨性较差，抗胶合和点蚀能力较强，用于工作平稳、低速和小功率场合。

8.8 直齿圆柱齿轮传动设计

8.8.1 轮齿的受力和计算载荷

1. 受力分析

圆周力: $F_t = \frac{2T_1}{d_1}$

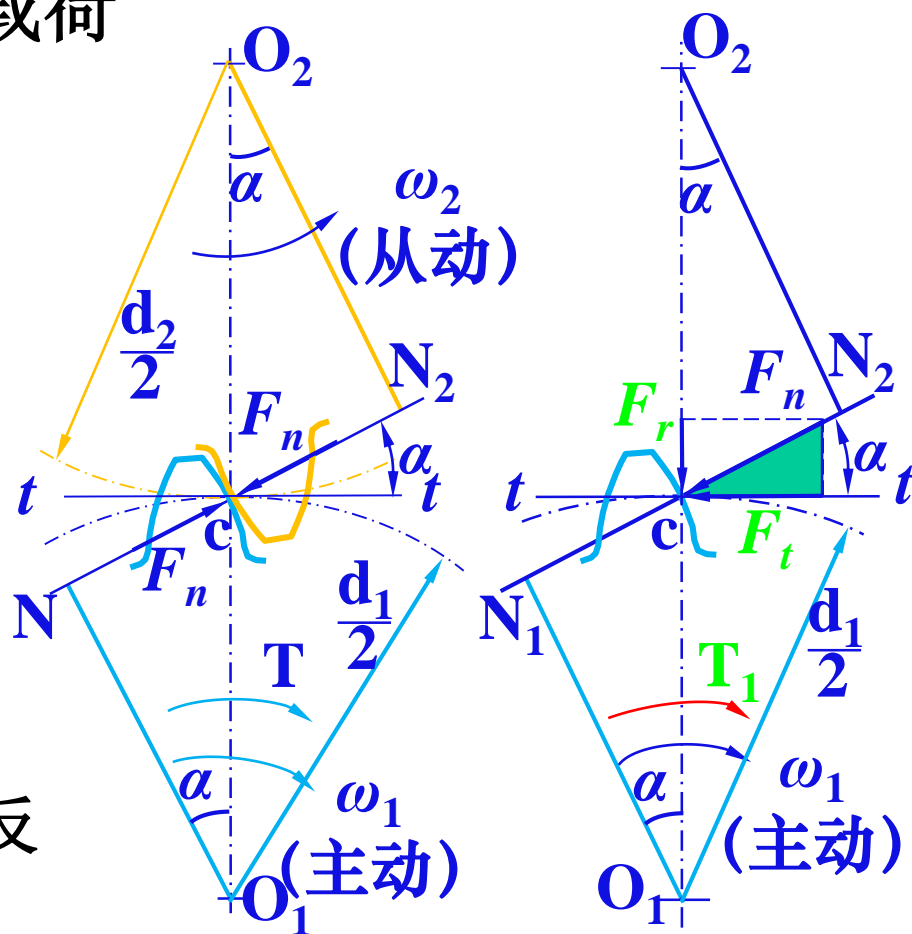
径向力: $F_{r1} = F_{r2} = F_t \tan \alpha$

法向力 $F_n = F_t / \cos \alpha$

方向:

主动轮: F_{t1} 与受力点运动方向相反
 F_{r1} 指向轮心

从动轮: F_{t2} 与受力点运动方向相同
 F_{r2} 指向轮心



2. 计算载荷与载荷因数

上述法向力 F_n 称为名义载荷。实际上由于制造误差，轮齿、轴和轴承受载后的变形，以及传动中工作载荷和速度的变化等，使轮齿上所受的实际载荷大于名义载荷，故轮齿强度计算时应按计算载荷 F_{nca} 进行。

$$F_{nca} = KF_n = \frac{2KT_1}{d_1 \cos \alpha}$$

8.8.2 齿面接触疲劳强度计算

齿面接触疲劳强度校核公式：

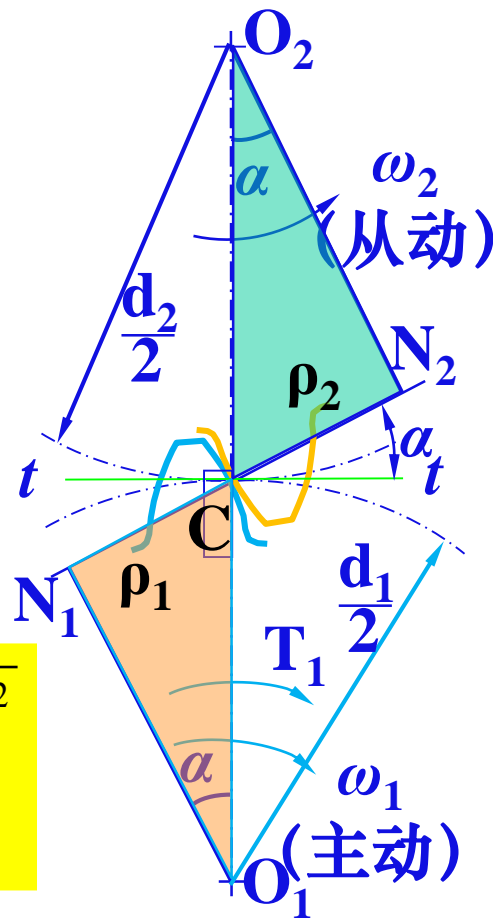
$$\sigma_H = Z_E Z_H \sqrt{\frac{2KT_1}{bd_1^2} \bullet \frac{u \pm 1}{u}} \leq \sigma_{HP}$$

引入齿宽系数： $\psi_d = b/d_1$

得设计公式：

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{2KT_1}{\psi_d} \bullet \frac{u \pm 1}{u} \left(\frac{Z_E Z_H}{\sigma_{HP}} \right)^2}$$

公式中：“+”用于外啮合，“-”用于内啮合。



8.8.3 齿根弯曲疲劳强度计算

齿根弯曲疲劳强度校核公式：

$$\sigma_F = \frac{2KT_1}{bd_1m} Y_{Fa} Y_{Sa} \leq \sigma_{FP}$$

引入齿宽系数： $\psi_d = b/d_1$

得设计公式：

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2KT_1 Y_{Fa} Y_{Sa}}{\psi_d (u \pm 1) z_1^2 \sigma_{FP}}}$$

取 $Y_{FS} = Y_{Fa} Y_{Sa}$

设计时，取 $\frac{Y_{FS1}}{\sigma_{FP1}}$ 和 $\frac{Y_{FS2}}{\sigma_{FP2}}$ 较大者，计算的模数应圆整为标准值。

8.8.4 参数选择

1. 齿数比 u

$u = z_2/z_1 \geq 1$, $u \uparrow \rightarrow$ 装置的结构尺寸 \rightarrow 两齿轮轮齿的应力循环次数差别大。对一般减速传动取 $u \leq 5$; 增速传动取 $u \leq 1.5-2$ 。

2. 齿数 z

在满足轮齿弯曲强度的条件下, 宜取较多的齿数;

通常对软齿面的闭式齿轮传动, 可取 $z_1 = 20 \sim 40$; 对硬齿面的闭式齿轮传动或开式传动, 主要应保证轮齿的弯曲强度, 应适当选取较少的齿数。

3. 模数 m

对传递动力的齿轮, 为防止意外断齿, 应保证模数 $m \geq 2\text{mm}$ 。

4. 齿宽因数 ψ_d

增大齿宽可缩小齿轮的径向尺寸, 但齿宽愈大, 载荷沿齿宽分布就愈不均匀。