

机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

怎样插内齿轮

(修订本)

张志扬 编著

齿轮工



机械工业出版社

TG 61
6
3

0211-1

目 录

一 概说	1
1 内齿轮的特点(1)—— 2 内齿轮的切齿方法(4)	
二 插齿刀和插齿机	7
1 插齿刀的类型和选择(7)—— 2 插齿机的种类和用途(14)	
—— 3 国内外插齿机结构性能简介(18)—— 4 插齿机的一般调整程序(23)—— 5 切削用量的选择(32)—— 6 目前插齿刀和插齿机的发展趋势(36)	
三 直齿内齿轮的插削方法	38
1 在插齿机上插削的方法(38)—— 2 在一般插床上插削的方法(57)	
四 斜齿内齿轮的插削方法	63
1 在插齿机上插削的方法(63)—— 2 螺旋角的选择(65)——	
3 直齿、斜齿内齿轮的几何计算(66)—— 4 内齿轮的测量和检验(70)	
五 内齿轮加工中产生误差的原因及其消除方法	80



A79 173

一 概 说

1 内齿轮的特点 在汽车和拖拉机的后轴里，在减速器和行星齿轮传动机构中，以及在齿形结合子和飞机螺旋桨星板的渐开线花键孔上，都可以见到这样一种带齿工件，它的牙齿是在轮缘的内侧，齿顶圆直径反而比齿根圆直径小，这种齿轮我们把它叫做内齿轮。

一个内齿轮跟一个小齿轮互相啮合，通常由小齿轮的回转运动传递给内齿轮，这种齿轮传动，我们叫它做内啮合传动。这里，两轴的位置还是平行的，而且两齿轮的回转方向完全相同（见图1）。

在机器制造业中，所使用的内齿轮有直齿和斜齿两种。这两种内齿轮的齿形曲线都是渐开线，牙齿齿形就象外齿轮的齿间那样往内弯。这就是说，除了齿顶跟齿根的位置对换以外，内齿轮的牙齿齿形完全跟同一压力角，同一模数和同一齿数的外齿轮齿间的齿形一样。

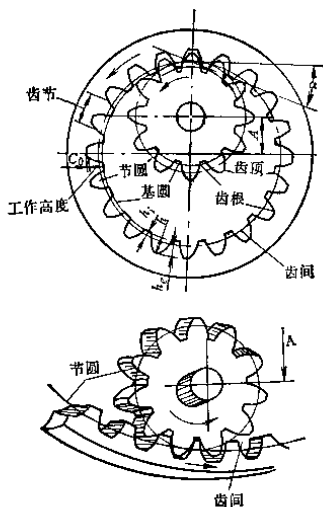


图1 内啮合的齿轮传动

内齿轮跟外齿轮比较起来，有下列优点：

一、中心距比较短 两轴的中心距应该是两轮节圆半径之差，而不是半径之和。中心距短，齿轮传动机构就紧凑了，相应地减轻了重量、节省了材料。如果在结构上要求两平行轴往同一方向回转，采用内齿轮还可省去一个惰轮。

二、传动比较安全 内齿轮的轮缘实际上看作一个防护罩，所以当两轮回转的时候，牙齿滚动起来不但很安全，而且附在齿面上的润滑油也不致往外飞溅。

三、齿面接触率比较大 两齿轮啮合的时候，因为两轮的节圆都是往内弯的，所以它们的啮合弧或啮合线长度都要比外齿轮的长。这就是说，齿面接触率比较大（见图2）。接触率大的话，啮合弧比一个齿节长一点。或者说，啮合线长度比基节长一点，这样当第一对牙齿还没有脱开以前，第二对牙齿早就开始接触。因此，内齿轮的传动工作要比外齿轮平稳得多。

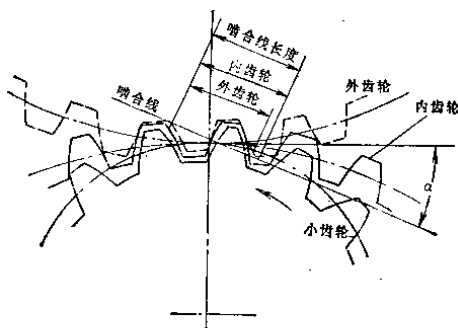


图2 内外啮合时，啮合线长度的比较

四、齿面滑动量比较小 在啮合的时候，由于两轮的齿面工作高度比较接近，所以齿面间的滑动量就比较小，齿面间摩擦和磨损也小。由于内齿轮有这些好处，这就有可能使它的应用范围更加扩大。

五、齿的接触精度比较高 内齿轮在其传动中啮合齿接触斑点比外齿轮的多，此外啮合齿非工作齿面间的间隙也比外齿轮的小，所以说，齿的接触精度比较高。

六、内齿轮寿命比较长 一方面由于内齿轮的齿形曲线是往内弯的，牙齿的根部显得特别肥，所以它的齿根比外齿轮的强（要是它们都用同一材料做成的话）。另方面，上面已经提到，传动工作比较平稳，磨损要小一点。因此，内齿轮的寿命比较长。

尽管内齿轮有那么多的特点，但是由于以下几种原因，在使用范围上受到一定的限制，例如：

（1）在速比要求上，内齿轮和小齿轮的齿数比不能太小，因此，它只适用于大的减速比。

（2）在结构布局上，由于内齿轮与小齿轮各挂一方，轴和轴承的刚度都感到不足（从图3所示的单级减速器的结构中可以看出这个问题）。

（3）在切齿方法上，由于加工设备和刀具结构上

缺陷，必然要产生误差，这种误差通常由于现有条件所限是不能完全克服的。例如：受内啮合运动特性影响，在切齿过程中内齿轮的齿顶和插齿刀的齿根出现拉毛或刀瘤现象。此外，内齿轮的

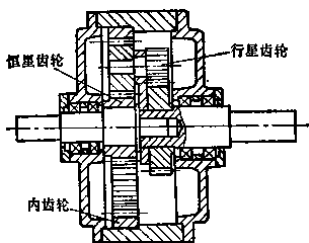


图3 单级减速器

齿面被切成许多波纹形折线，它跟理论上渐开线光滑的曲线有差别，产生一种齿形误差。因此，希望进一步提高其加工精度，但还受到现有精加工机床和刀具的约束。

正是有这些缺点，所以它的使用范围要受到限制。

虽然如此，目前在减速器的传动机构上，应用内齿轮要比外齿轮多一点，特别是在矿山机械中、在坦克炮塔里，需要大模数大直径的内齿轮。

2 内齿轮的切齿方法 在一般机器厂里，内齿轮主要是在插齿机上切齿（见图4）。要是没有插齿机，或者插齿机不够使用时，对那些精度要求不高的内齿轮，或者只作开槽粗加工较大模数的内齿轮，就可以根据具体条件用其它机床来切齿，例如：

（1）在一般立式插床上，做一个专用夹具，这个夹具设有分度机构，使用一把齿条形单片插刀，按仿形法单齿分度来插齿。不过这里插出来的齿形不是渐开线，但作为开槽粗加工还是可以的。下一步再把它放在插齿机上，按展成法连续分度精加工，插出渐开线齿形。假使改用渐开线齿形的插刀，除非刀头形状做成内齿轮齿间齿形，否则不能插出较为正确的渐开线齿形。如果再与小齿轮去配接触面，将会获得较好的效果。

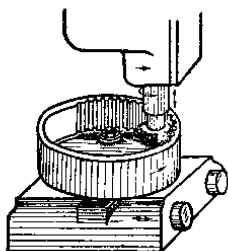


图4 内齿轮的切齿方法

（2）在滚齿机上采用特殊装置和跟内齿轮齿间形状一样的单片铣刀，也可按仿形法以单齿分度来铣齿，不过这种加工方法跟用滚刀来滚齿有所不同。

不论用那一种方法切齿，首先对内齿轮的构造和特性应有所

了解。譬如说，常常遇到这样一种内齿轮（见图5），有底的轮缘内只有一条较窄的空刀槽。加工齿圈时，除了用插齿刀能够沿齿圈完整地插削以外，其它的切齿方法都不适用。为什么说插齿法已被公认为加工内齿轮的主要方法，道理就在这里。此外，插齿法又是加工齿条、多联齿轮、带台肩齿轮轴等的最重要的制齿方法。

凡是有槽底的内齿轮，加工时为了避免插齿刀刃面跟槽底相碰，或者考虑插齿刀出刀时超越量和避免槽内屑末无法清除，这种内齿轮应有一条足够宽度的空刀槽，建议设计内齿轮时采用表1所列的空刀槽尺寸（带括号的模数尽量不采用）。

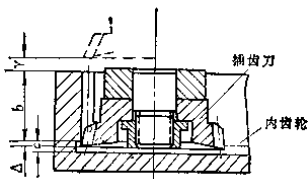


图5 具有槽底的内齿轮

表1 内齿轮空刀槽的宽度

模 数 m	槽 深 a	槽 宽 $c \geq$		
		直 齿	斜 齿	
		$\beta = 0^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$\beta = 23^\circ$
0.5 0.6 0.8	1.5 2 2.5	4	5	6
1 (1.25) 1.5 (1.75) 2	3 3.5 4 4.5 5	5	6	7
(2.25) 2.5 3 3.5 4	5.5 6 7.5 9 10.5	6	7.5	8.5
5 6 8	13 15 20	7 8	9 10.5	10 12

(3) 在插齿机上应用展成法 (又称创成法、滚切法或包络法) 加工原理插削内齿轮, 插齿刀就象一个小齿轮, 不过它有切削用的前角和后角。在插削内齿轮的过程中, 它正如两个齿轮作无间隙的内啮合传动一样, 刀具相对于被加工的内齿轮, 一边滚转, 一边插切, 使内齿轮齿形的渐开线逐渐形成, 无数的包络线最后形成渐开线齿形, 这也是所谓插齿的齿面精度一般比滚齿的高, 原因就在这里。

但是, 用插齿刀插削内齿轮的时候, 可能发生下列现象:

1) 由于插齿刀齿根的非渐开线部分参与啮合, 往往发生内齿轮顶切现象; 同时插齿刀径向切入, 又会切去内齿轮的齿顶;

2) 在滚切过程中, 插齿刀的齿顶和内齿轮的齿顶在转出时发生干涉, 从而引起内齿轮顶切现象;

3) 在滚切过程中, 由于插齿刀的连续圆周进给运动, 加上连续的径向进给运动, 导致插齿刀回程时的“让刀干涉”。此外插削时, 在压负荷作用下, 被切内齿轮材料先形成裂纹, 切屑和插齿刀之间形成焊瘤, 焊瘤可达十分之几毫米, 于是在插齿刀齿根处产生较大刀瘤, 使内齿轮齿顶一侧出现拉毛现象, 这些都是加工内齿轮“内啮合特性”所形成的。

4) 由于插齿刀与刀轴没有夹住, 插齿刀和内齿轮不同步地滚切, 这也切不出正常的牙齿。

怎样才能消除顶切现象呢? 实践证明, 可采取下列任一措施来消除:

1) 加大内齿轮的齿顶圆直径 (选用短齿制);

2) 减小插齿刀齿形的移位距;

3) 减少插齿刀的齿数, 选用较小直径的插齿刀;

怎样才能消除刀瘤和拉毛现象呢? 由于现有插齿机的结构性条件限制, 迄今为止, 尚无办法防止刀瘤和拉毛现象的产生。

据国外资料介绍，通过试验研究，使用斜向让刀，在径向进给时，中断圆周进给，改变切削条件可以控制刀瘤和拉毛的产生。

如上所述，正确选择插齿刀是十分重要的。为了避免插齿刀齿顶引起内齿轮发生顶切，内齿轮齿数跟插齿刀齿数之差不得少于 10~12 个齿。

同样道理，为了避免内齿轮齿顶跟小齿轮齿根的圆角发生干涉起见，内齿轮齿数跟小齿轮齿数之差也不得少于 10 个齿；即使是变位齿轮，也不要少于 8 个齿才好。

多年来，制造精密齿轮的技术有了新的发展，当然制造内齿轮也不例外。这些精密齿轮多半是用在航空发动机、汽车、机床、工程机械等。精密齿轮一般都具有这样的特性：材料机械性能高、传动效率高，经久耐磨；在高速（圆周速度达 100~150 米/秒）下既不振动，也无噪声等。此外，精密内齿轮不论是淬火过的还是不退火的，都必须具有较高的加工精度和齿面光洁度。很明显，要达到这些要求，除了提高插齿机的加工精度外，还要改进插齿刀的材质。诚然使用高质量的高速钢和粉末冶金插齿刀，具有高速切削性能，并拥有良好的刀具耐用度。

二 插齿刀和插齿机

1 插齿刀的类型和选择 插齿刀，可以把它看成是一个具有切削性能的齿轮。插齿刀刀齿的齿形是渐开线的，要是我们把它装在立式插齿机或卧式插齿机上，就能够插削直齿、斜齿和人字齿的圆柱齿轮。特别是，它能够插削齿条和内齿轮。

插齿刀的分类如下：

（1）按被切齿轮的型式来分：

1）切削直齿内、外齿轮用的，

2) 切削斜齿内、外齿轮用的;

3) 切削人字齿轮用的。

(2) 按被切齿轮的精度来分:

1) *A* 级插齿刀, 用来加工 6 级精度的齿轮;

2) *A* 级插齿刀, 用来加工 7 级精度的齿轮;

3) *B* 级插齿刀, 用来加工 8 级精度的齿轮;

(3) 按插齿刀的结构来分 (见图 6):

1) 盘形直齿插齿刀 主要用于加工内齿轮的, 有 $\phi 160$ 和 $\phi 200$; 主要用于加工外齿轮的, 有 $\phi 75$ 、 $\phi 100$ 和 $\phi 125$ 。

2) 碗形直齿插齿刀 紧固插齿刀的螺母安置在刀体内, 适合加工有槽底的内齿轮, 有 $\phi 50$ 和 $\phi 75$ 两种; 用于加工有凸缘的外齿轮, 有 $\phi 100$ 和 $\phi 125$ 两种。

3) 锥柄直齿插齿刀 主要用于加工小直径的内齿轮, 有 $\phi 25$ 和 $\phi 38$ 两种, 锥柄带有莫氏 2 号短圆锥。

为了改善插齿刀的切削条件, 提高切齿质量和插齿刀的耐

用度, 应尽量减少正变位系数, 以提高插齿刀刀尖的强度。同时将插齿刀的厚度作相应的加厚 10~20% 左右, 以增加插齿刀的使用寿命。

从延长刀具寿命和提高切齿生产率来讲, 希望插齿刀的齿数 Z_n 尽可能取得多些, 但 Z_n 选得过多, 内齿轮与插齿刀的齿数差

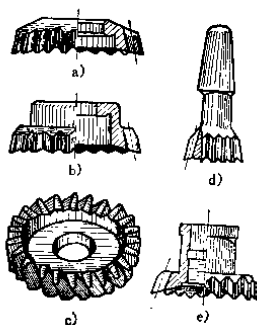


图 6 插齿刀的类型

a) 盘形直齿 b) 碗形直齿
c) 盘形斜齿 d) 锥柄直齿
e) 筒形直齿

$(Z_{\text{内}} - Z_{\text{刀}})$ 不得不减少, 或者 $Z_{\text{刀}}$ 选得过少, 都将可能产生内齿轮齿顶顶切的现象, 或切不出内齿轮的齿顶齿形。

因为, 插齿刀的齿数 $Z_{\text{刀}}$ 和移距系数 ξ_d 的合理数据是互相制约的, 原来要考虑如下条件:

1) 在切齿过程中, 保证插齿刀齿根不干涉内齿轮的齿顶(干涉顶切);

2) 在径向切入过程中, 保证插齿刀齿顶不过多切去内齿轮的齿顶(切入顶切);

3) 用插齿刀切出的内齿轮齿形根部与配对齿轮共轭过程中, 不应有过渡曲线干涉现象;

4) 插齿刀本身不应产生严重根切现象;

5) 插齿刀渐开线齿形有效部分应有足够的长度;

6) 新插齿刀和刃磨多次的旧插齿刀切出内齿轮根圆的变化, 不应超过设计要求;

7) 插齿刀的齿顶应有足够大的刀尖宽度。

根据上面七个条件采取下列措施:

1) 消除干涉顶切, 唯一有效措施是将内齿轮的齿高减小。

2) 避免切入顶切, 关键在于插齿刀齿数的选择, 当齿数差 $(Z_{\text{内}} - Z_{\text{刀}})$ 大于 17 时, 保证不发生切入顶切的最大移距系数 $\xi_{d\text{最大}}$ 为正值, 反之, 齿数差小于 17 时, $\xi_{d\text{最大}}$ 为负值。

3) 当内齿轮齿数和配对齿轮齿数给定时, 选用的插齿刀齿数稍多于配对齿轮齿数, 则保证不发生过渡曲线干涉的 $\xi_{d\text{最大}}$ 值就愈大, 当内齿轮齿数和配对齿轮齿数相同时, 即在渐开线花键齿连接的场合下, 则 $\xi_{d\text{最大}}$ 值处于最小极限情况。

4) 在磨齿机上加工齿数很少和移距系数为负值的插齿刀时, 往往产生根切现象, 为此在磨齿时尽可能选用较大的机床安装角。

,

5) 对齿数较少的插齿刀, 基圆是在根圆以外。此时, 插齿刀的移距系数愈小, 渐开线齿形有效部分长度就愈短, 很有可能切不出符合要求的内齿轮齿形。为此, 在给定插齿刀齿数时, 移距系数 x 愈大, 切齿时重叠系数也愈大, 它不但要大于1, 还要大于内齿轮传动时的重叠系数。

6) 为使插齿刀在不同移距截面中, 所切出内齿轮齿根圆半径的变化尽可能小些, 那么, 应将插齿刀的齿顶后角减小 1° 。

加工内齿轮用的直齿插齿刀主要参数如表2所示。当如工表中模数为4.5到5.5的内齿轮时, 其所用的插齿刀, 可选用 $\phi 100$ 外齿轮的盘形或碗形直齿插齿刀。表2中 B 表示插齿刀有齿部分厚度, 这厚度比现用插齿刀(国标GR70-60~80-60)的厚度大一些。

切削斜齿内齿轮用的插齿刀有两种: 一种是锥柄斜齿插齿刀, 公称分圆直径为 $\phi 38$ 毫米, 模数自1至4毫米, 锥柄带有莫氏2号短圆锥, 螺旋角习用 15° 与 23° 两种。但实际上内、外齿轮所用的螺旋角大小是多种多样的, 为使螺旋导轨标准化, 规定了斜齿插齿刀的螺旋角系列, 可参见后面第四章第2节螺旋角的选择。另一种是盘形斜齿插齿刀, 公称分圆直径为 $\phi 100$ 毫米, 模数自1至7毫米, 孔径为 $\phi 31.743$ 毫米, 不但能在立式插齿机上使用螺旋导轨加工斜齿内齿轮, 而且也能在卧式插齿机上加工(见图13)。螺旋线有左旋和右旋。

加工人字齿轮应用两把盘形斜齿插齿刀, 一把是右旋斜齿, 另一把是左旋斜齿, 成对地装在卧式插齿机上, 端面模数自8至12毫米, A、B级用于精加工, C级用于粗加工, 孔径为 $\phi 88.9$ 毫米。

在插齿刀上作出下列标记: 编号、公称分圆直径、模数、原始齿条齿形角, 精度等级、压力角和螺旋角等, 使用者一看就能

表 2 直齿插齿刀主要参数表 (用于加工内齿轮)

模数	φ25		φ38		φ50		φ75		φ160		φ200					
m	Z _刀	B	Z _刀	B	Z _刀	B	Z _刀	B	Z _刀	B	Z _刀	B				
1	26	10	38	12	50	14	76	15	盘形插 齿 刀		盘形插 齿 刀					
1.25	20	10	30	12	40	14	60	15								
1.5	18	10	25	12	34	14	50	15								
1.75	15	12	22	15	29	17	43	17								
2	13	12	19	15	25	17	38	17								
2.25	12	12	16	15	22	17	34	17								
2.5	10	12	15	15	20	17	30	17								
2.75	10	15	14	15	18	17	28	17								
3	锥柄插齿刀		12	15	17	20	25	20								
3.25			12	15	15	20	24	20								
3.5			11	15	14	20	22	20								
3.75			10	17			20	20								
4			锥柄插齿刀		碗形插齿刀		碗形插齿刀						19	20		
4.5																
5									27	35						
5.5													25	35		
6													23	35		
6.5													20	35	25	40
7													18	35	22	40
8													16	35	20	40
9															18	40
10															17	40
11																
12																

分辨出来。

$\phi 50$ 毫米碗形直齿插齿刀, 其孔径为 $\phi 20$ 毫米; $\phi 75$ 、 $\phi 100$ 毫米盘形和碗形直齿插齿刀, 其孔径都是 $\phi 31.743$ 毫米; 盘形插齿刀, 公称分圆直径 $\phi 125$ 毫米的孔径为 $\phi 31.743$ 毫米, $\phi 160$ 毫米的孔径为 $\phi 88.9$ 毫米, $\phi 200$ 毫米的孔径为 $\phi 101.6$ 毫米。如果插齿机刀轴轴颈尺寸为 $\phi 44.43$ 毫米时, 对于这样孔径的插齿刀可向工具厂特殊订货, 即供应孔径为 $\phi 44.43$ 的插齿刀。不然的话, 自制几种接套, 上端与刀轴连接, 配合尺寸为 $\phi 44.43$, 下端与插齿刀连接, 配合尺寸为 $\phi 20$ 、 $\phi 31.743$ 、 $\phi 88.9$ 和

$\phi 101.6$ 毫米 (参见图 19)。这些接套都具有精密的加工精度,主要是上下端配合尺寸的同心率,下端轴颈跳动允差不大于 8 微米,还应有端面垂直度要求。

究竟怎样正确地选择插齿刀呢?除了上面讲到的避免切入顶切和保证不发生过渡曲线干涉等方面以外,还要避免产生停刀误差现象 (俗称大小牙)。

插齿刀的径向跳动或刀具安装偏心会导致停刀相邻误差,该误差最大可达到插齿刀的径向跳动量,严重时很有可能出现齿面带台阶现象。

解决办法:第一种,合理选择插齿刀齿数,

当 $A = \frac{Z_{\text{工}}}{Z_{\text{刀}}} - n$ 值 (n 为任意整数) 趋近于 0 或 1 时,停刀误差才是最小, A 值 0.5 则最大,就是说,插齿刀的齿数能除尽工件齿数 (得整数),这样就不会出现停刀误差 (见图 7)。第二种,通过试切工件选好了始切位置,也能使停刀误差缩小。

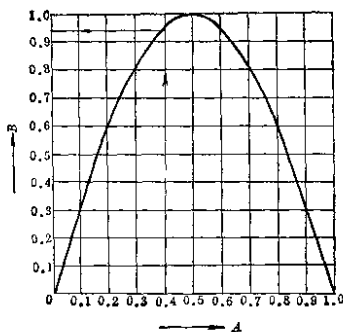


图 7 求停刀误差用的曲线图

例 图 23 的内齿轮, $Z_{\text{工}} = 135$, 插齿刀 $Z_{\text{刀}} = 25$, 插齿刀径向跳动量 $f_r = 0.01$ 毫米。

解 $A = \frac{Z_{\text{工}}}{Z_{\text{刀}}} - n = \frac{135}{25} - n = 5.4 - 5 = 0.4$, 查图 7,

$A = 0.4$ 时, $B = 0.94$, 最大停刀误差 $f_{i\text{最大}} = B \times f_r = 0.94 \times 0.01 =$

0.0094毫米。当然插齿刀齿数最好选用 $Z_n = 27$, 此时, $A = \frac{135}{27} - n = 5 - 5 = 0$, 停刀误差 f_i 为零。

选择插齿刀的时候, 不仅要考虑齿数问题, 还要观察插齿刀的结构尺寸是否适用于插齿机, 因此必须根据具体条件加以选择。譬如说, 从表 2 中可知, 同一模数有不同类型和不同公称分圆直径的插齿刀。从齿数方面来看, 这种或那种插齿刀都能用, 不过考虑到插齿刀的结构尺寸和精度要求时, 也许这种或那种都不适用。如上所述, 向工具厂定做一把插齿刀, 比自制的要好得多, 但在时间上也许不能满足要求, 最好自制一个接套, 使它上端适合于插齿机的刀轴, 下端适合于插齿刀。虽然接套的加工精度比较高, 但比定做或自制一把插齿刀要方便得多, 而且还经济实用。

刀具是影响切削效率主要因素之一。近几年来, 由于机床、刀具与夹具的改进, 齿轮加工效率平均提高了 8~10 倍, 高速钢插齿刀的切削速度又有显著提高, 从 30*/分提高到 70*/分左右。插齿刀模数从 $m 0.4$ 到 $m 30$, 公称分圆直径从 $\phi 8$ 到 340 毫米。 $m = 30$ 大模数插齿刀用于加工人字齿轮。

为了提高插齿刀的切削效率和刀具耐用度, 国外主要采取下列措施:

1) 不断地改进刀具的材料, 现用钨钼基高速钢制造插齿刀, 淬火后硬度通常为 HRC63~67, 红硬性和耐磨性都很好, 特别适用于加工强度高面齿面宽的齿轮。此外, 还用粉末冶金高速钢制造插齿刀, 其碳化物分布均匀, 颗粒细, 具有很高的耐磨性、强度和韧性, 硬度为 HRC66~67, 主要用于加工高强度钢和难加工材料的内、外齿轮。

2) 根据被加工齿轮的参数, 用电子计算机编制程序最合理地设计出切齿刀具, 改进刀具的制造工艺, 确保刀具质量, 合理

的选择切削用量，充分地发挥刀具性能。

3) 严格检验刀具的原材料，进行光谱分析和金相检验，分析化学成分，检查金相组织，检查淬火组织和回火组织，特别注意检验碳化物的形状、分布和颗粒大小，经检验合格后才能投入生产。

4) 为了充分发挥插齿刀的切削能力，一般使用 120~130 分钟后，改变圆周进给方向，即相应改变插齿刀的切入面和切出面，使其左右切削刃刀尖附近达到磨损均匀。切削刃磨损和齿根部分出现刀瘤都需要刃磨，刃磨角度必须保持原设计值，否则会影响被切齿轮的加工精度。刃磨时为了避免局部过热，最好采用湿磨法，否则会降低插齿刀的硬度，同时磨削用量要小，以便提高插齿刀前刃面的光洁度。因为光洁度不好会使切削刃呈现“锯齿形”，这样会影响被切齿轮的齿面光洁度和刀具耐用度。

5) 插削大模数高强度钢质齿轮时，可在插齿刀顶刃处磨出前角负 5° 的倒棱（见图 8），这样可以防止刀齿崩刃和改变切屑形状，以提高插齿刀耐用度。

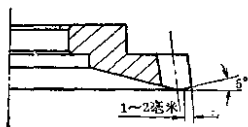


图 8 顶刃倒棱

插齿刀制成后再进行一次表面处理，是提高其耐磨性的有效措施。改善刀齿前刃面的光洁度，强化表面，采用碳化硅在 6 个大气压下进行湿喷砂处理，以增加表面润滑冷却液的浸润能力，可减少切削时刀瘤的产生。

2 插齿机的种类和用途 用插齿刀工作的插齿机，都是以两个齿轮无间隙啮合的展成原理为基础，按展成法进行加工的。加工内齿轮的切削原理跟加工外齿轮一样，在切削过程中，插齿刀和被切内齿轮进行无间隙啮合，象一个小齿轮和一个内齿轮那

样啮合，结果内齿轮的齿形被插齿刀切出许多波纹形折线，它的形状就是插齿刀切削刃连续位置的包络线（见图9）。

为了实现这种切削过程，插齿机一般具备以下五种运动（见图10）：

1) 插齿刀主轴的往复切削运动；

2) 插齿刀主轴的圆周进给运动；

3) 滚切分齿运动：工作台主轴绕自身轴线，配合插齿刀主轴作慢速回转运动；

4) 径向进给运动：插齿刀向内齿轮，或者内齿轮向插齿刀在半径方向上作切入运动；

5) 让刀运动：在插齿刀空回行程中，为了避免插齿刀擦伤已加工的齿面，不是内齿轮退离插齿刀，便是插齿刀退离内齿轮。在插齿刀工作行程开始前，内齿轮或插齿刀又自动地回到原位，这种动作叫做让刀运动。

插齿机的切齿运动简图如图10所示。图中1——切削主运动；2——圆周进给运动；3——滚切分齿运动；4——径向进给运动；5——让刀运动。

插齿机的类型：插齿机按照插齿刀主轴轴线位置来划分，主轴轴线垂直放置的叫做立式插齿机，主轴轴线水平放置的叫做卧式插齿机。立式插齿机有横向布周和纵向布局两种：前者（见图11）让刀运动是由工件退离插齿刀；后者让刀运动是由插齿刀退离工件，这种插齿机有立柱移动作径向进给（图12a），也有工作台移动作径向进给（图12b）。

· 卧式插齿机有两种：一种是用一把插齿刀工作的，主要用来

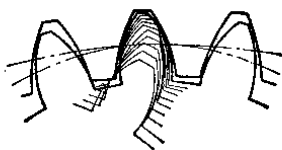


图9 插齿刀切削刃连续位置的包络线