

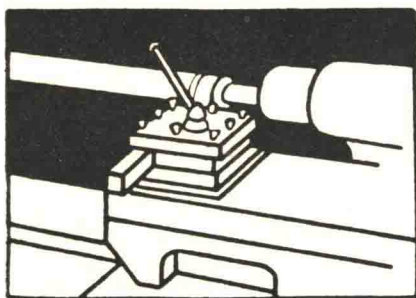
机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

刀具的铲齿加工

高树德 编著

车工



机械工业出版社

7240350

内容提要 本书作者汇集了有关制造铲齿刀具的工艺方面的资料，经过多次整理而编成。

内容以常用 C 8955 型铲齿车床为典型，从铲齿、铲刀、铲磨、砂轮等方面围绕铲齿工艺作了较系统的讲述。

本书可供从事铲齿刀具的工人学习参考。

刀具的铲齿加工

高树德 编著

※

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

※

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $1 \frac{7}{8}$ · 字数 45 千字

1981 年 6 月北京第一版·1981 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001—14,000 · 定价 0.16 元

※

科技新书目 5-118

统一书号：15033 · 5220

目 录

一 铲齿	1
1 铲齿的基本方式 (1)——2 成形铣刀的铲齿 (5)——3 滚刀的铲齿 (9)——4 多头螺纹和环形齿螺纹 (17)	
二 铲刀	23
1 由车刀看铲刀的几何形状 (23)——2 铲刀的刃部形状 (29)	
三 铲磨	33
1 铲磨的操作 (33)——2 修整砂轮的工具 (36)	
四 砂轮	47
1 磨料 (48)——2 粒度 (49)——3 硬度 (50)——4 结合剂 (51)——5 形状与尺寸 (51)——6 砂轮的组织 (52)——7 砂轮的圆周速度 (53)	
附表	55
1 花键滚刀齿形精度试切时出现的问题和修磨部位 (55)——2 铲齿和铲磨的缺陷、故障和消除方法 (57)	

一 铲 齿

铲齿车床在目前已得到广泛的应用，使铲齿铣刀在金属切削刀具上，特别是复杂铣刀方面占有很大的比例。

国内使用最广泛的是C 8955 型万能铲齿车床（以下简称铲床），这种铲床具有多种加工的性能，例如可作车削、磨削、铲齿、铲磨加工；也可作右刃、左刃；螺旋齿、环形齿；刃沟为直槽或螺旋槽以及某些仿形加工等等。

所以，我们就在C 8955 型铲床上进行有关工艺的讨论。

1 铲齿的基本方式 铲齿铣刀上齿背形状的形成是铣刀毛坯在等速旋转的同时，机床内的凸轮推动铲刀沿铣刀径向作匀速推进，于是就制成具有切削后角的齿背形状。

在不同的齿形型式和不同结构的铣刀上，须采用不同的铲齿方式。铲齿的基本方式有径向铲齿、斜向铲齿和轴向铲齿三种。

一 径向铲齿 即铣刀绕其轴线等速旋转的同时，铲刀在垂直于铣刀轴心线的方向作往复冲程运动（图1），是使用最广泛的一种铲齿方式。这样铲齿时，铲床上大刀架底盘的刻度准线位于零度上，即正常位置。

在径向铲齿时，凸轮转过一周升程量等于铣刀齿背上的铲背量 K ，其相互关系由图2所示。装在冲程刀架内的凸轮向逆时针方向旋转一周的同时，被铲铣刀向操作者方向转了一个刃齿的等分 AB ，就是说铲刀由铣刀

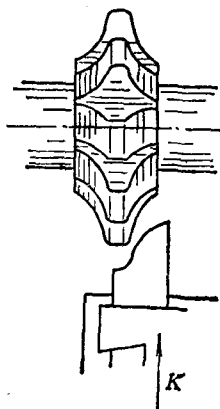


图1 径向铲齿

外径上的 A 点经过 D 点到达 B 点，完成一次往复冲程。

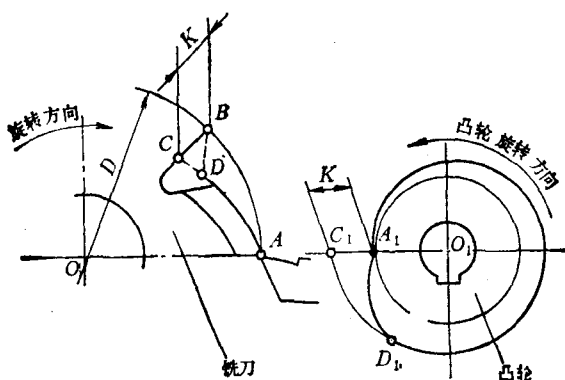


图2 凸轮和铣刀上 K 值的相互关系

在凸轮上一周的升程量 $A_1C_1 = K$ ，反映在铣刀上应该是 AD 曲线（阿基米德螺旋线）的延长点 C 到外径上的距离 $BC = K$ 。在铣刀上 $AB = \frac{\pi D}{Z_k}$ 。如已知被铲铣刀的外径 D 、刃齿数 Z_k 和齿形线斜角 φ （图3），则可求出 K 值：

$$K = \frac{\pi D}{Z_k} \cdot \operatorname{tg} \alpha_b \quad (1)$$

式中 α_b ——铣刀外径上的铲背后角，在一般情况下 $\alpha_b = 10^\circ \sim 12^\circ$ 。

为使被铲铣刀刃面上的齿形上任意一点 x 的后角能满足最小切削后角 α_x 在 2° 以上，应根据铣刀外径上的后角 α_b 验算该点 x 处的后角 α_x ：

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{R}{R_x} \operatorname{tg} \alpha_b \sin \varphi \quad (2)$$

式中 R ——是铣刀外圆半径，

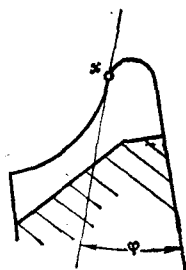


图3 齿形斜角 φ

R_x ——齿形上任意一点 x 到铣刀轴心的半径。

当 x 点趋近于铣刀外径上时，可看作 $\frac{R}{R_x} = 1$ ，(2) 式即可写成：

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_x &= \operatorname{tg} \alpha_b \sin \varphi \\ \operatorname{tg} \alpha_b &= \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\sin \varphi} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

例 铣刀外径 $D = 90$ 毫米，刃齿数 $Z_k = 11$ ，刃形斜角 φ 的最小值是 8° ，求径向铲背的 K 值。

解 将 (3) 式移项：

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\sin \varphi} = \frac{\operatorname{tg} 2^\circ}{\sin 8^\circ} = \frac{0.03492}{0.13917} = 0.2500$$

$$\alpha_b = 14^\circ 05'$$

由 (1) 式：

$$K = \frac{\pi 90}{11} \times \operatorname{tg} 14^\circ 05' = \frac{3.1416 \times 90}{11} \times 0.2500 = 6.4$$

取 $K = 6.5$ 毫米。

二 斜向铲齿 在铣刀绕其轴心线旋转的同时，铲刀在与铣刀轴心线的垂线成某一角度的方向进行铲齿。常用在刃形斜角 φ 较小的铣刀上，图 4 是一凸曲面齿形的铣刀，图 5 是指形齿轮铣刀的斜向铲齿

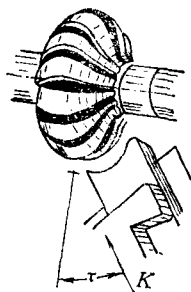


图 4 斜向铲齿

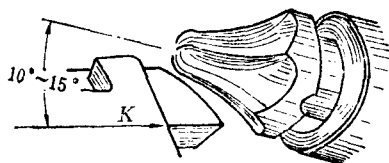


图 5 指形齿轮铣刀的斜向铲齿

刀。为使铣刀的刃形曲线上，各处都有足够的后角，在刃形斜角 φ 小于 8° 时，常把大刀架转一角度 τ 进行铲齿，这时大刀架转角 τ 和使用的凸轮升程量 K_τ 成以下关系：

$$K_\tau = \frac{K}{\cos \tau} \quad (4)$$

在一般的曲面铣刀上， $\tau = 15^\circ$ 时 $K_\tau = 1.03K$ ， $\tau = 20^\circ$ 时， $K_\tau = 1.06K$ 。可见，在径向铲背量 K 值不很大的情况下，换算 K_τ 的意义并不大，可以用 K 值在斜向铲齿（参见图 5）。

铲制大模数指形齿轮铣刀时，常把大刀架沿机床主轴轴心线搬斜 $\tau = 10^\circ \sim 15^\circ$ ，根据经验 τ 在 15° 时的结果最好。这样，在指形齿轮铣刀上的径向铲背量 K 和斜向铲背量 K_τ 的关系是：

$$K_\tau = \frac{K}{\sin \tau} \quad \text{或} \quad K_\tau = 3.86K$$

三 轴向铲齿 在铣刀绕其轴心线等速旋转的同时，铲刀在平行于铣刀轴心线的方向上进行铲齿，如图 6。

轴向铲齿用于有端面刀齿的铲齿刀具上，例如弧形伞齿轮铣刀和蜗形钻等等。

轴向铲背量的计算与径向铲背量的公式相同，其计算直径是取刀尖的名义直径。

例 铲制一 6" 的弧形伞齿轮铣刀，其刀头装在有六个槽的刀盘上，刀头齿形上的铲背后角要求 12° ，求其轴向铲背量。

解 刀尖的名义直径是 6"，等于 152.4 毫米。

$$K = \frac{\pi \times 152.4}{6} \times \tan 12^\circ = 16.96$$

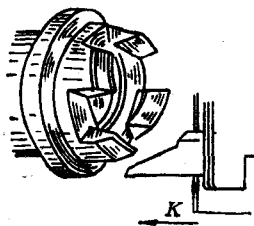


图 6 轴向铲齿

取 $K = 17$ 毫米。

有的工厂采用斜向铲齿法加工这种刀具，其计算与斜向铲齿的道理相同。

2 成形铣刀的铲齿 常用的成形铣刀有凸、凹半圆铣刀、钻头沟铣刀、齿轮片铣刀、花键轴铣刀及特殊形状铣刀等等。这类铣刀的齿形表面光洁度一般为 $\nabla 6$ ，并且规定了铣刀一周的偏摆量，因为齿形是直接由铲齿工序完成，不再铲磨，就要求精铲齿形的操作者能够掌握磨制铲刀技术和熟练操作机床。

一 材料调质 铲齿通常分为粗铲和精铲两个工步，最好是在精铲前进行材料调质(或正火)处理，以改善钢材的机械性能，使材料硬度和韧性适宜切削加工的需要，达到提高加工光洁度和尽力减少淬火时的材料变形。经过实践，一般高速钢(W18Cr4V)的材料调质硬度为 HRC31~38。大量生产中，也有时把材料调质处理放在粗铲以前进行，这样可以合并粗精铲工序，节省大量工序周转时间，压缩刀具制造周期。

二 掌握磨刀方法 铲刀刃部形状可以由操作者手拿铲刀在砂轮机上按样板磨出，也有的是在磨床上用成形砂轮或磨刀夹具磨出。前者灵活方便，随用随磨，需要掌握手拿磨刀技术；后者使用简易，有利于提高铲齿精度及光洁度，而须有磨床设备及必要的夹辅具。

铲制铣刀外径时，常用表 6 中 2 号的平刃铲刀。这种铲刀容易磨制，都是手拿在砂轮机上磨出。其平刃上的后角是在砂轮外圆上磨成，如图 7。该后隙面是凹入的圆曲面，凹入深度不宜太大，为此，所用砂轮直径应大于 $\phi 200$ 毫米。铲刀平刃沿后隙面的切向后角约为 $33^\circ \sim 38^\circ$ ，刀尖不能太虚弱，否则容易在工作中打

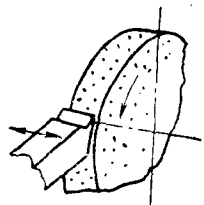


图 7 在砂轮机上磨成的铲刀凹入后面

刀。

粗铲齿形时常用磨有月牙槽和大前角的成形铲刀，如表 6 的 3 号 4 号和 6 号。

在一些齿形较大、形线复杂的刃形上，可以采用分段铲切的方法，把整个刃形曲线分成几段，按各段形状分别磨刀，这样既可减小切屑面积，提高光洁度、防止啃刀，又简易了磨刀技术。

对于精铲齿形的铲刀，如果手拿铲刀在砂轮机上磨出，就应顺便磨出刃边的月牙槽和大前角，以提高加工光洁度和刀具锋利性、如表 6 中 4 左图。用于大量生产和齿形精确的精铲刀在平面磨床或曲线磨床上磨制成形，为减少刃形畸变常把铲刀前刀面做成平行于铲刀底基面的平面，如表 6 中 4 右图，当刃口用钝时把铲刀放在平磨磁吸盘上吸牢，磨去一层前刀面就可以了。

这种铲刀的刃口跨在铣刀齿形两侧。两侧刃形要比被铲铣刀的齿形宽度留有余隙，余隙的大小依齿形曲线的复杂性而定。以齿轮铣刀的成形铲刀为例（图 8），铣刀齿形 1 至 3 号的铲刀刃形余隙 S 为 1~2 毫米，4 至 8 号的铲刀刃形余隙为 0.5~1 毫米。

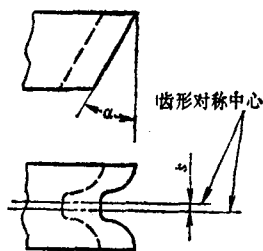


图 8 齿轮铣刀铲刀余隙

由于各号铣刀的渐开线齿形上曲率不同，在刃形上的形线斜角 φ （在齿形曲线上作切线与齿形对称中心线的夹角）的最小值也不同，会引起切削后角的显著变化。为此，这种成形铲刀的顶后角是在铣刀 1 至 3 号取 $\alpha = 33^\circ$ ，4 至 8 号取 $\alpha = 37^\circ$ ，在小规格（模数 1 至 3）的成形铲刀还要做出侧后角 $1^\circ 15'$ 。

不论哪种铲刀，在使用之前都应检查刀刃的锋利性。这可用食指或拇指试摸刃边是否有毛刺和钝口，最好是用细油石把前刃

面和后隙面研磨光整，以提高工件的表面光洁度和延长铲刀的耐用时间。

精铲之前，须检查铲床上的主轴、刀架等部位的配合间隙，主轴与轴瓦的间隙约在 0.03 毫米以内为宜。纵横刀架调至稍紧配合，手摇摇把须感到轻微用力。凡是工作中不需随时调整的部位，可调整紧些，或紧固住。

在铲床横刀架附装的定位装置（图 9）对铲齿中防止啃刀、避免摇错圈数很有效果，获得广泛应用。目前，机床制造厂已将此项装置纳入铲床机构中。

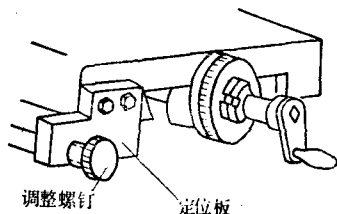


图 9 刀架的进给定位装置

有的工厂在铲齿中往工件上加注润滑切削油，以提高铲齿后的工件表面质量，并可减少铲刀的磨损。润滑油一般皆采用硫化切削油（硫化植物油加机油），也有用植物油加动物油的，效果更好。

精铲的吃刀量由开始稍大，逐渐减小到 0.02 至 0.04 毫米，直至齿形尺寸合格，表面全光为止。

铲齿工作中，铲床的主轴转速视被铲铣刀的外圆直径大小、铲背量的大小和刃齿数的多少而定。外圆直径大要比直径小的主轴转速低；铲背量大要比铲背量小的主轴转速低；刃齿数多要比刃齿数少的主轴转速低。

一般情况下，粗铲的主轴转速约在每分钟 8.7 至 12 转，精铲的主轴转速则更低。

目前铲刀都是装卡在刀架的左侧，有些老工人把铲刀改变位置，装卡在刀架的中部，试验后获得一些效果，使原来齿面上一侧光洁度偏低的问题有了改善。

三 齿形留量和工步程序 齿形留量关系到被铲铣刀的质量

好坏和生产效率高。可见合理地选择齿形留量是关系生产效果的重要环节。

在铣刀外径公差大于六级 (d_6) 时, 留给精铲的齿形留量厚度是 0.3~0.5 毫米。外径公差小些的铣刀, 齿形留量厚度可在 0.45~0.8 毫米。如果粗精铲共用一付样板, 操作者要以齿顶距离样板的缝隙观察留量 (见图10)。铣刀上齿形线斜角 φ 的角度越小, 影响留量的齿顶缝隙 δ_1 须越大。 φ 小于 15° 的齿形留量厚度 δ 应按上述留量适当放大。

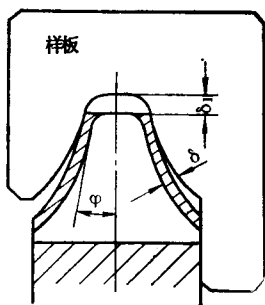


图10 在 φ 角上的留量

在外径公差较小的铣刀上确定齿形留量时, 还应考虑到热处理变形和刃磨前刃面工序造成外径减小的预先留量。

在图 11 中列举了几种不同的铣刀齿形, 用有数字的虚线表示分段铲削的先后程序和部位。

例如: 1. 铲制图 11 中 a 的齿条铣刀齿形时, 程序是 (1)

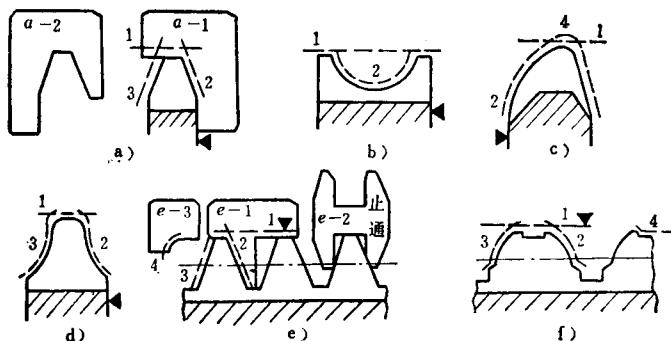


图11 齿形加工的工步程序

先铲好齿顶，合乎外径尺寸；（2）以标有▼的一侧端面作为测量基准面，先铲该侧齿形，用样板 $a-1$ 靠平此基准面，测量齿形对样板的缝隙（目测透光度）；（3）铲另一侧齿形，使之符合样板 $a-1$ 和 $a-2$ ， $a-2$ 样板全部符合在规定的透光度内，即完成了齿形加工，最后铲齿顶圆角。

2. 铲制图 11 中 e 齿轮滚刀齿形的程序是（1）先铲好滚刀外径，并检验外径上的偏摆和锥度；（2）铲右侧齿形，用半齿形样板 $e-1$ 以齿顶为基准测量齿形，目测透光度看其缝隙大小；（3）铲左侧齿形，仍用半齿形样板 $e-1$ 测量，并且用齿轮卡尺或齿厚卡板 $e-2$ 测量齿形上的齿厚尺寸；（4）最后铲齿顶两侧的圆角，用样板 $e-3$ 测量。

3 滚刀的铲齿 铲制滚齿刀具与铲成形铣刀的方法大同小异，只是溜板在工作中作纵向移动，在这里以齿轮滚刀为例进行介绍。

一 铲削滚刀外径 准备工作完毕，首先铲滚刀毛坯的外径，可以用表 6 中 2 号的平刃铲刀对平滚刀坯件的外径（也可在顶尖套筒的外径上对刀），铲刀夹紧后铲切滚刀的齿顶。也可用表 6 中 1 号的双刃粗铲刀以纵向走刀铲切滚刀齿顶，如图 12。这种方法类似车外圆的道理，由于切削深度 $t_1 + t_2$ 由两个刀尖分担，利用

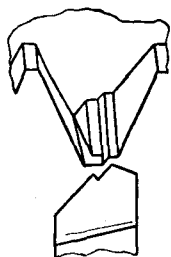


图12 用双刃铲刀铲切

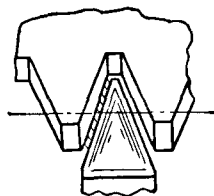


图13 单面全齿形的铲切

1:16 螺距挂轮在 1:1 的速度走刀，而比平刃铲刀的铲切情况改善很多，使切削面积和切削力减小，减轻了崩尾问题，有利于提高质量，一两次走刀即可铲完外径。

二 铲削齿形 铲齿形时如果留量较大，可先停止刀架冲程，进行车齿形螺纹，到留量接近要求后再行铲齿。

对中小齿形的滚刀，一般用表 6 中 6 号左图的铲刀（小齿形的铲刀刃面上不便磨月牙槽，由始至终都是全齿形切削，见图 13，吃刀量由大到小，直至齿形全部铲好。

大于模数 5 的滚刀，沿齿形的切削面较长，采用铲刀由浅到深的分段铲切方法（图 14），减小切屑长度，降低切削力，从而减轻铲刀震动，尽量消除齿形表面的波纹和啃刀、崩尾等质量问题。

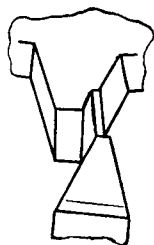


图14 直线齿形的分段铲切

工作中每次上刀是在一段上吃刀并走刀铲过各齿，刀架返回后摇动纵横刀架，使铲刀进至较深一段的位置，吃刀后走刀铲过各齿。

当模数很大时，可把小刀架转斜一个齿形角的角度（图 15），用铲刀尖部大吃刀并走刀铲削，溜板往复一次，摇进一次横向刀架摇把，使铲刀向齿形方向移动一段，直至铲完全部齿深的齿形。这样铲完的齿形表面会留下走刀痕迹，刀痕的波形大小由刀尖形状和走刀量的大小决定。

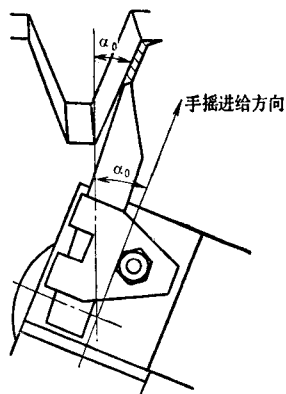


图15 斜刀架分段铲切

生产实践的经验证明，这样铲

出的齿形只要齿形角正确，粗铲留下的刀痕不致影响铲磨，而且会给铲磨中减少热量和烧伤。如果需要表面有较好光洁度也可用精铲刀再精铲。

分段铲切的粗铲方法在制造大型镶片齿轮滚刀的粗铲工序已普及使用。

老工人在总结了丰富的实践经验之后，创造了用排式梳刀（表6中8号）铲制标准齿轮滚刀的方法。排式梳刀靠压板紧固在C8955型铲床刀架上，见图16。对

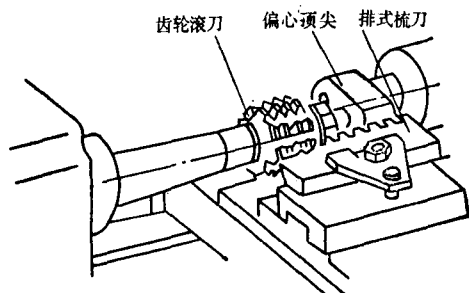


图16 用排式梳刀铲制齿轮滚刀

刀以后经一两次或三、四次纵向走刀，使全部刀刃通过工件，粗铲滚刀工序即完成。由于排式梳刀具有许多刃齿分担了齿槽内的全部切削余量，象板牙通过丝杆的铰丝一样，由导锥角上的不完整齿先行粗切，后面的完整刀齿将前面切过的齿形修整成形。

因为排式梳刀是许多齿同时切削，工作中工件受到较大的切削力，引起心杆的颤动。就要求梳刀尽量短些，心杆颈部尽量加粗。并且采用“偏心顶尖”（图17），将顶尖座向外侧移过18毫

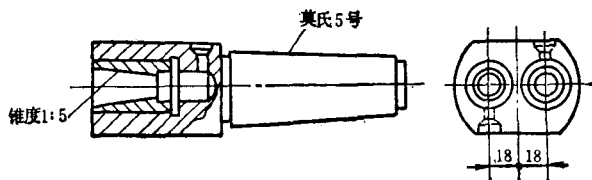


图17 偏心顶尖

米,使顶尖套筒给梳刀让开位置。

排式梳刀运用于生产上,为铲齿工序开辟了多快好省的新途径。目前,由于机床刚性不足,使用的规格受到局限。要扩大应用范围,尚须继续改造机床。

近几年直槽刃沟的齿轮滚刀日益增多,铲制直槽滚刀时不用差动挂轮,须使差动挂轮脱开并将从动轴(一组挂轮的末轴)固定住,防止因工作中震动而转动。如图18 a,把36牙的齿轮反装在该轴上,使圆销插入齿槽并装入销孔内,用螺钉通过隔套紧固住齿轮轴。

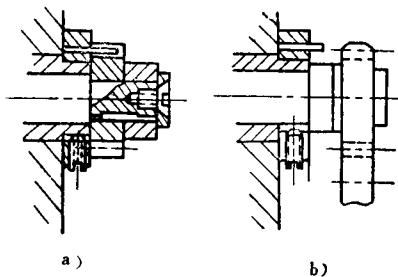


图18 差动轮轴的固定和挂轮

a) 用于直槽滚刀 b) 用于螺旋槽滚刀

各型铲床的挂轮公式列于下表。

表1 铲床挂轮公式

型 号	挂轮用途	丝杠的螺距	公 式
C8904	螺距挂轮	0.25π	$\frac{t}{0.25\pi} = \frac{t}{0.7854}$ t —工件轴向螺距(毫米)以下同
		0.5π	$\frac{t}{0.5\pi} = \frac{t}{1.5708}$
		π	$\frac{t}{\pi} = \frac{t}{3.1416}$
	分齿挂轮		$\frac{1}{Z_K}$ Z_K —工件刃齿数。以下同

表 2 铲床挂轮公式

型 号	挂轮用途	主传动速比	公 式
C8955 C8955A	普通螺距	1:1	$\frac{t}{12.7}$
	增大螺距	1:4	$\frac{t}{4 \times 12.7} = \frac{t}{50.8}$
		1:16	$\frac{t}{16 \times 12.7} = \frac{t}{203.2}$
	分齿挂轮	1:1或1:16	$\frac{3 \cdot Z_K}{40}$
		1:4	$\frac{3 \cdot Z_K}{10}$
	差动挂轮	1:1, 1:4, 1:16	$\frac{50 \times 32 \times Z_K}{21 \cdot S_K} = \frac{76.2 Z_K}{S_K}$ S_K —工件刃沟导程
C8950	普通螺距	1:1	$\frac{t}{12}$
	增大螺距	1:8	$\frac{t}{96}$
		1:24	$\frac{t}{288}$
	分齿挂轮	1:1, 1:8, 1:24	$\frac{Z_K}{16}$
	差动挂轮	1:1, 1:8 1:24	$\frac{480 Z_K}{S_K}$

注：表内 t 值对于多头滚刀应为 $t \times$ 头数。

三 铲磨长度的控制 在需要铲磨的滚刀齿背上，应该为退出砂轮准备第二次铲背，使齿背上的后部不会因铲磨不到而妨碍刀齿后角，并且为铲磨控制磨光的最小长度

第二次铲背有两种形式，图 19 a 是用加大铲背量 K 值的方

法，加大的铲背量 $K_1 = (1.2 \sim 1.5) K$ ，留下的 K 值铲背长度 l 应根据成品图纸的要求和齿形留磨量的大小来决定。对一般齿轮滚刀齿形留磨量很小，铲齿可以取成品的 K 值长度。

图19 b 是在砂轮退出的部分预先多铲掉 Δh 深度，用以代替第二次铲背量 K_1 的作用。

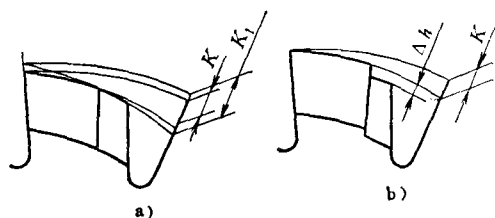


图19 两种不同的二次铲背

这样做比用 K_1 的方法容易控制成品铲磨表面长度的准确性和一致性。

为提高铲齿效率，可以把两次铲背 K 与 K_1 或 K 与 Δh 制造在同一个凸轮上，如图20图21，高度 Δh 在通常的规格（模数

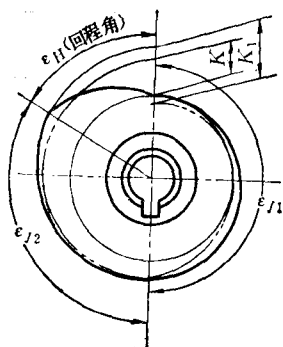


图20 双 K 值凸轮

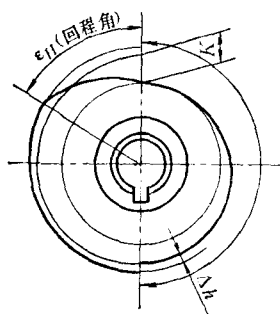


图21 有台阶的单 K 值凸轮

1~10) 范围内，大约分别做在 0.6~1.2 毫米之间。

一般的普通凸轮上只有一个圆周升程量 K ，而双 K 值凸轮的