
铣工培训教程

课题一 铣床的分类和附件

第一节 铣床的种类

铣床的种类很多，常用的有以下几种：

1. 升降台铣床：升降台铣床又称曲座式铣床，它的主要特征是沿床身垂直导轨运动的升降台，工作台可随升降台做上下垂直运动，工作台可做纵向和横向运动，故使用灵便。适宜加工中小型零件，因此升降台铣床是用的最多最普遍的，按主轴位置可分为卧式和立式。（如 x53T，X63T）

第一节 铣床的种类

2. 万能工具铣床：万能工具铣床能够完成多种铣削工作，不仅工作台可以做两个方向的平移，立铣头可做一个方向的平移，还可以在垂直平面上左右扳转移角度。卸掉立铣头摇出横梁还可以当卧式铣床用。且特别适合于加工刀具，样板其他工具、量具类较复杂的小型零件（如 x62w）（图 1）

第一节 铣床的种类

3. 龙门铣床：属于大型铣床，铣削动力头安装在龙门导轨上，可做横向和升降运动，工作台安装在固定床身上只能做纵向运动，适宜加工大型零件。

4. 除以上三类常用铣床外，使用较广泛的还有仿形铣和数控铣床等。

第二节 铣床的结构

铣床一般由七个部分组成。

1. 床身 用来安装和支承机床各部件，是铣床的身体，内部有主传动装置，变速箱、电器箱。床身安装在底座上，底座是铣床的脚，内部还有冷却液等。

2. 悬梁 安装在床身上方的导轨中，悬梁可根据工作要求沿导轨作前后移动，满足加工需要。悬梁内部的主轴变速箱是由电动机通过一系列齿轮再传递到一对锥齿轮上，最后从铣头主轴传出。

3. 主轴 用来带动铣刀旋转，其上有 7:24 的精密锥孔，可以安装刀杆或直接安装带柄铣刀。

第二节 铣床的结构

4. 升降台 沿床身的垂直导轨作上下运动，即铣削时的垂直进给运动。

5. 横向工作台 沿升降台水平导轨作横向进给运动。

6. 纵向工作台 沿转台的导轨带动固定在台面上的工件作纵向进给运动。

7. 转台 可随横向工作台移动，并使纵向工作台在水平内按顺或逆时针扳转某一角度，以切削螺旋槽等 [\(视频 1\)](#)

第三节 X62W 铣床的性能和规格

X62W 型万能铣床比一般铣床所特有的功能是工作台能围绕自己的中心向左右回转 45 度。他适用圆柱、圆片铣刀、角度铣刀、成型铣刀及端面铣刀铣切加工各种零件，如加工平面、斜面、沟槽、此轮等。在此设备上装置附件分度头或圆工作台时，可以加工铣刀、直齿轮、铰刀、螺旋槽、螺旋齿轮、鼓轮、凸轮及弧形槽等。(图二)

X62W 铣床的标志明显，操作简单，主轴变速、走到变速装有冲动装置，便于变速。有消除工作台传动间隙调整机构，保证铣削精度和运动平稳，并具有互锁机构，超越离合器等安全装置，工作台三坐标具有快速机构，并有完善的润滑系统。

第三节 X62W 铣床的性能和规格

X62W 铣床的主要规格：

工作台最大纵向行程 手动 700mm 机动 680mm 工作台最大横向行程 手动
255mm 机动 240mm

工作台最大垂直行程 手动 320mm 机动 300mm 工作台最大回转角度正负 45 度

主轴中心线至工作台面间的距离 30—350mm
215—470mm

床身垂直导轨至工作台中心距离

第三节 X62W 铣床的性能和规格

主轴中心线到悬梁的距离 115mm

主轴转数种数 18 种

主轴转数范围 30—1500r/min

工作台进给种数 18 种

工作台纵向与横向进给范围 23.5—1180mm/min

工作台垂直进给范围 8—394mm/min

工作台纵向及横向快速移动量 2300mm/min

工作台垂直快速移动量 770mm/min

第四节 铣床的附件

铣削零件时，工件用铣床附件固定和定位，常用铣床附件有：

（一）平口钳 是一种通用夹具。使用时，先校正平口钳在工作台上的位置，然后再夹紧工件。一般用于小型较规则的零件，如较方正的板块类零件、盘套类零件、轴类零件和小型支架等。

平口钳安装工件时，应注意：应使工件被加工面高于钳口，否则应用垫铁垫高工件；应防止工件与垫铁间有间隙；为保护工件的已加工表面，可以在钳口与工件之间垫软金属片。

（二）压板 是将工件直接放在工作台台面上，用压板压紧并固定。对于一些较大的工件可用压板固定。（图三）

（三）万能分度头 万能分度头是铣床的重要附件。（图四）

万能分度头是安装在铣床上用于将工件分成任意等份的的机床附件。利用分度刻度环和游标，定位销和分度盘以及交换齿轮，将装卡在顶尖间或卡盘上的工件分成任意角度，可将圆周分成任意等份，辅助机床利用各种不同形状的刀具进行各种沟槽、正齿轮、螺旋正齿轮、阿基米德螺线凸轮等的加工工作。万能分度头还备有圆工作台，工件可直接紧固在工作台上，也可利用装在工作台上的夹具紧固，完成工件多方位加工。

I 万能分度头特点：

万能分度头是各类铣床的主要附件是不可缺少的工具，它能将装在顶尖之间或卡盘上的工件分成任意角度或等分（2 等分~210 等分），可进行沟槽、正齿轮等工序。万能分度中心是简单型的万能分度中心且能被用于直、接间的分度法，对于特写的分度及螺旋式的加工在内，不需配件，但整个分度头结构和尾座与那些万力型是一至相同。

- 1、使用蜗杆的改变及四分仪，产生蜗杆分度容易，本设计的特色；
- 2、主轴、蜗杆、蜗轮系独高级刚材，经硬化及基面精准，耐用；
- 3、车床尾座是燕尾槽的设计，紧实但可调整以达正确的准线；
- 4、蜗轮、蜗杆的减速率为 40：1，其单位同二侧的分度盘提供；
- 5、A 面的分度为 24、25、28、30、34、37、39、41、42 及 43；
- 6、B 面为 46、47、49、51、53、54、57、58、59、62 及 66；
- 7、蜗杆的改变，可提供 24、28、32、38、40、44、48、56、64、72、86 及 100 等齿轮范围广泛；
- 8、每一分度头提供完整的中心轴，齿轮架改变蜗杆的四分仪，蜗杆变更组件。车床尾及分度盘等。

II 万能分度头配带附件：

尾坐 1 件 千斤顶 1 件 分度盘 2 件 法兰盘 1 件 等（图五）

III 万能分度头分度类别：

直接分度

可利用主轴上 360° 刻度盘对工件进行了分度或等分，分度值为 1° 。

精密分度

可利用分度盘（2 块），A、B、C、D 四个面通过弹性手把对工件进行等分（2 等分~210 等分），这种分度方法在使用中最为广泛。定位手把的转数 n 可根据不同的需要来决定

第四节 铣床的附件

IV 万能分度头的功用：

1) 使工件绕本身轴线进行分度（等分或不等分）。如六方、齿轮、花键等等分的零件。

2) 使工件的轴线相对铣床工作台台面扳成所需要的角度（水平、垂直或倾斜）。因此，可以加工不同角度的斜面。

3) 在铣削螺旋槽或凸轮时，能配合工作台的移动使工件连续旋转。

第四节 铣床的附件

V 万能分度头的结构：

分度头的底座内装有回转体，分度头主轴可随回转体在垂直平面内向上 90° 和向下 10° 范围内转动。主轴前端常装有三爪卡盘或顶尖。分度时拔出定位销，转动手柄，通过齿数比为 $1/1$ 的直齿圆柱齿轮副传动，带动蜗杆转动，又经齿数比为 $1:40$ 的蜗轮蜗杆副传动、带动主轴旋转分度，详见实物或挂图。当分度头手柄转动一转时，蜗轮只能带动主轴转过 $1/40$ 转。这时分度手柄所需转过的转数 n 为：

$$1:40=1/z:n$$

$$n=40/z$$

第四节 铣床的附件

VI 万能分度头分度方法：

简单分度方法。例如，分度 $z=35$ 。每一次分度时手柄转过的转数为：

$$n=40/z=40/35=1 \text{ 又 } 1/7$$

即每分度一次，手柄需要转过 $1 \text{ 又 } 1/7$ 转。这 $1/7$ 转是通过分度盘来控制的，一般分度头备有两块分度盘。分度盘两面都有许多圈孔，各圈孔数均不等，但同一孔圈上孔距是相等的。第一块分度盘的正面各圈孔数分别为 24、25、28、30、34、37；反面为 38、39、41、42、43，第二块分度盘正面各圈孔数分别为 46、47、49、51、53、54；反面分别为 57、58、59、62、66。

简单分度时，分度盘固定不动。此时将分度盘上的定位销拔出，调整孔数为 7 的倍数的孔圈上，即 28、42、49 均可。若选用 42 孔数，即 $1/7=6/42$ 。所以，分度时，手柄转过一转后，再沿孔数为 42 的孔圈上转过 6 个孔间距。

为了避免每次数孔的烦琐及确保手柄转过的孔数可靠，可调整分度盘上的两块分形夹之间的夹角，使之等于欲分的孔间距数，这样依次进行分度时就可以准确无误。

(四)．回转工作台：回转工作台又称为转盘、平分盘、圆形工作台等。它的内部有一套蜗轮蜗杆。摇动手轮，通过蜗杆轴，就能直接带动与转台相连接的蜗轮转动。转台周围有刻度，可以用来观察和确定转台位置。拧紧固定螺钉，转台就固定不动。转台中央有一孔，利用它可以方便地确定工件的回转中心。当底座上的槽和铣床工作台的 T 形槽对齐后，即可用螺栓把回转工作台固定在铣床工作台上。铣圆弧槽时，工件安装在回转工作台上，铣刀旋转，用手均匀缓慢地摇动回转工作台而使工件铣出圆弧槽。

课题二 铣床刀具

第一节 铣刀的类型

(一)铣刀按用途区分有多种常用的型式。①圆柱形铣刀：用于卧式铣床上加工平面。刀齿分布在铣刀的圆周上，按齿形分为直齿和螺旋齿两种。按齿数分粗齿和细齿两种。螺旋齿粗齿铣刀齿数少，刀齿强度高，容屑空间大，适用于粗加工；细齿铣刀适用于精加工。②面铣刀：用于立式铣床、端面铣床或龙门铣床上加工平面，端面和圆周上均有刀齿，也有粗齿和细齿之分。其结构有整体式、镶齿式和可转位式 3 种。③立铣刀：用于加工沟槽和台阶面等，刀齿在圆周和端面上，工作时不能沿轴向进给。当立铣刀上有通过中心的端齿时，可轴向进给。④三面刃铣刀：用于加工各种沟槽和台阶面，其两侧面和圆周上均有刀齿。⑤角度铣刀：用于铣削成一定角度的沟槽，有单角和双角铣刀两种。⑥锯片铣刀：用于加工深槽和切断工件，其圆周上有较多的刀齿。为了减少铣切时的摩擦，刀齿两侧有 $15' \sim 1^\circ$ 的副偏角。此外，还有键槽铣刀、燕尾槽铣刀、T 形槽铣刀和各种成形铣刀等。图 2-1

(二)铣刀的结构分为 4 种。①整体式:刀体和刀齿制成一体。②整体焊齿式:刀齿用硬质合金或其他耐磨刀具材料制成,并钎焊在刀体上。③镶齿式:刀齿用机械夹固的方法紧固在刀体上。这种可换的刀齿可以是整体刀具材料的刀头,也可以是焊接刀具材料的刀头。刀头装在刀体上刃磨的铣刀称为体内刃磨式;刀头在夹具上单独刃磨的称为体外刃磨式。④可转位式(见可转位刀具):这种结构已广泛用于面铣刀、立铣刀和三面刃铣刀等。

(三)铣刀按齿背的加工方式分为两类。①尖齿铣刀:在后面上磨出一条窄的刃带以形成后角,由于切削角度合理,其寿命较高。尖齿铣刀的齿背有直线、曲线和折线 3 种形式。直线齿背常用于细齿的精加工铣刀。曲线和折线齿背的刀齿强度较好,能承受较重的切削负荷,常用于粗齿铣刀。②铲齿铣刀:其后面用铲削(或铲磨)方法加工成阿基米德螺旋线的齿背,铣刀用钝后只须重磨前面,能保持原有齿形不变,用于制造齿轮铣刀等各种成形铣刀。

第二节 铣刀的材料及选用

1. 高速钢

高速钢是一种含钨(W)、钼(Mo)、铬(Cr)、钒(V)等合金元素较多的高合金工具钢,通常其碳的质量分数在 1%左右,W 的质量分数为 8%~20%,Cr 的质量分数为 3%~5%。高速钢抗弯强度 $\sigma_b \approx 3\ 500\ \text{MPa}$,冲击韧度 $a_K \approx 0.30\ \text{MJ/m}^2$ 。高速钢的强度与韧性好,能承受冲击,又易于刃磨,加工性好,价格便宜;但其耐热性、硬度较低,热处理后硬度为 62~65 HRC,耐热温度为 550~600 °C,耐磨性也较低。由于受耐热温度的限制,高速钢刀具不能用于高速铣削。高速钢是国内最常用的机械铣削加工刀具材料。我国常用的高速钢牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 和 W9Mo3Cr4V 等。由于 W18Cr4V 等含 W 量较多的高速钢价格较贵,其生产和使用已经减少。

W2Mo9Cr4V2Co8 是引进的超硬高速钢,它的高温硬度和抗氧化能力比上述高速钢好,可铣削难加工材料,适用于较高的铣削速度。我国生产的超硬高速钢牌号是 W6Mo5Cr4V2A1,它的价格比 W2Mo9Cr4V2Co8 便宜得多,只是热处理工艺性要求较高。

在常用物理气相沉积法在高速钢刀具的切削表面上沉积 $2\sim 5\ \mu\text{m}$ 的TiN薄膜(也称涂层,呈金黄色),可提高刀具寿命 $2\sim 5$ 倍。

第二节 铣刀的材料及选用

2. 硬质合金

硬质合金是利用粉末冶金的方法将高硬度、高熔点的碳化钨(WC)、碳化钛(TiC)、碳化钽(TaC)、碳化铌(NbC)和钴(Co)黏结、压制、烧结而成。它的常温硬度为 $88\sim 93\ \text{HRA}$,耐热温度为 $800\sim$

$1\ 000\ ^\circ\text{C}$ 。与高速钢相比,其硬度、耐磨性、耐热性要好得多。因此,硬质合金刀具允许的铣削速度比高速钢刀具大 $5\sim 10$ 倍。但它的抗弯强度只有高速钢的 $1/4\sim 1/2$,冲击韧度仅为高速钢的几十分之一,故硬质合金塑性和韧性差,怕冲击和振动。另外,它的工艺性比高速钢差,刃磨时比高速钢难磨削得多,而且不易制成整体刀具和成形刀具,一般是制成刀片焊接在刀体上使用,或用机械方法装夹、固定在刀体上使用。

第二节 铣刀的材料及选用

我国目前常用的硬质合金有以下三类

1) 钨钴类硬质合金

钨钴类硬质合金(代号YG)由碳化钨(WC)和钴(Co)组成,主要用于加工铸铁、有色金属等脆性材料和非金属材料。常用牌号有YG3、YG6和YG8。牌号中的数字表示含钴(Co)的百分比,其余为含WC的百分比。硬质合金中Co起黏结作用,含Co量越多的硬质合金韧性越好,硬度和耐磨性越差,所以YG8适于粗加工和断续铣削,YG6适于半精加工,YG3适于精加工和连续铣削。

第二节 铣刀的材料及选用

2) 钨钛钴类硬质合金

钨钛钴类硬质合金(代号YT)由碳化钨WC、碳化钛TiC和钴Co组成,由于TiC比WC还要硬、脆、耐磨、耐热,所以YT类合金比YG类合金硬度和耐热温度更高,耐冲

击和振动性差。加工钢材时，被加工材料塑性变形很大，切屑与刀具摩擦很剧烈，铣削温度很高，但由于其切屑呈带状，铣削过程较平稳，所以 YT 类硬质合金适于加工钢材等塑性材料。钨钛钴类硬质合金常用牌号有 YT30、YT15 和 YT5。牌号中的数字表示含 TiC 的百分比。TiC 含量越多的硬质合金韧性越差，硬度和耐磨性越高，所以 YT30 适于对钢材的精加工和连续铣削，YT15 适于半精加工，YT5 适于粗加工和断续铣削。

第二节 铣刀的材料及选用

3) 钨钛钽（铌）类硬质合金

钨钛钽（铌）类硬质合金（代号 YW）是在 YT 类硬质合金中加入少量的 TaC 或 NbC。YW 类硬质合金的硬度、耐磨性、耐热温度、抗弯强度和冲击韧性均比 YT 类高一些，其后两项指标与 YG 类相仿。因此，YW 类硬质合金既可以加工钢，又可以加工铸铁和有色金属，所以又称为通用硬质合金。常用牌号有 YW1 和 YW2，前者用于半精加工和精加工，后者用于粗加工和半精加工。

现在常用化学气相沉积法在硬质合金刀具表面上沉积 5~10 μm 的 TiC 薄膜（呈银灰色），也有沉积 TiC、TiN 双层薄膜或沉积 TiC、Al₂O₃ 和 TiN 三层薄膜的，复合涂层用得更多。硬质合金刀具经过气相沉积后，寿命可提高 2~10 倍。

第三节 预防铣刀断裂的措施

3.1 预防锯片铣刀断裂的措施：

通常可以采取下列措施防止锯片铣刀折损：1) 提高工件的装夹刚性。2) 使锯片铣刀的外圆刚好与工件底面相切，或稍高与底面。3) 不要使用两侧刀尖磨损不均匀的铣刀。4) 在切断较宽的厚料时，要特别注意工作台零位找正。5) 锯片铣刀刚切入工件时，应采用手工进给。6) 在铣削过程中，若发现停刀现象，应先停止进给，再停止主轴转动。7) 在切断过程中，要充分浇注切削液

第三节 预防铣刀断裂的措施

3.2 预防 T 型铣刀断裂的措施有：1) 切削过程中经常清除切屑 2) 充分浇注切削液 3)

T 型铣刀不能用的太钝 4) 采用较小的进给量和较低的切削速度 5) 切入和切出工件时采用手动进给。

第四节 铣刀的安装

带孔铣刀的安装

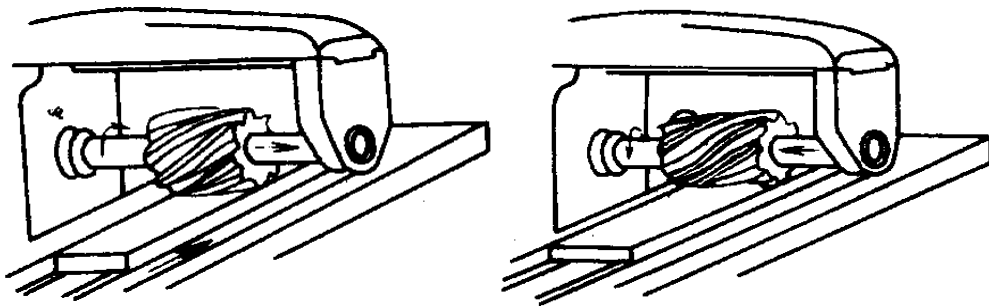
(1)带孔铣刀中的圆柱形、圆盘形铣刀，多用长刀杆安装，如图 3-1 所示。长刀杆一端有 7:24 锥度与铣床主轴孔配合，安装刀具的刀杆部分，根据刀孔的大小分几种型号，常用的有 $\Phi 16$ 、 $\Phi 22$ 、 $\Phi 27$ 、 $\Phi 32$ 等。

用长刀杆安装带孔铣刀时要注意：

(1) 铣刀应尽可能地靠近主轴或吊架，以保证铣刀有足够的刚性；套筒的端面与铣刀的端面必须擦干净，以减小铣刀的端跳；拧紧刀杆的压紧螺母时，必须先装上吊架，以防刀杆受力弯曲。

第四节 铣刀的安装

(2) 斜齿圆柱铣刀所产生的轴向切削力应指向主轴轴承，主轴转向与铣刀旋向的选择见下图



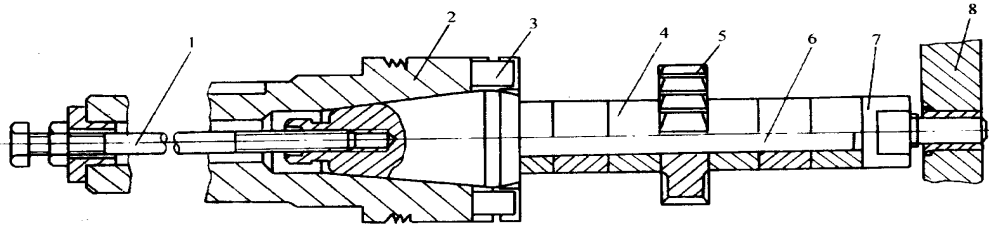
不
正确

正

确

图 3-1 圆盘铣刀的安装

1-拉杆 2-铣床主轴 3-端面键 4-套筒 5-铣刀 6-刀杆 7-螺母 8-刀杆支架



第四节 铣刀的安装

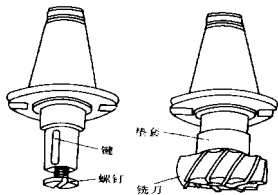


图 3-2 端铣刀的安装

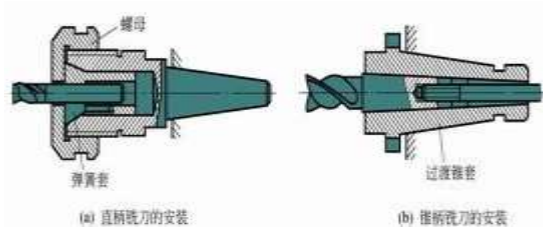


图 1 带柄铣刀

的安装

第四节 铣刀的安装

1. 带柄铣刀的安装

(1) 直柄铣刀的安装 直柄铣刀常用弹簧夹头来安装，如图 1a 所示。安装时，收紧螺母，使弹簧套作径向收缩而将铣刀的柱柄夹紧。

(2) 锥柄铣刀的安装 当铣刀锥柄尺寸与主轴端部锥孔相同时，可直接装入锥孔，并用拉杆拉紧。否则要用过渡锥套进行安装，参见图 1b。

2. 带孔铣刀的安装

如图 2 所示，带孔铣刀要采用铣刀杆安装，先将铣刀杆锥体一端插入主轴锥孔，用拉杆拉紧。通过套筒调整铣刀的合适位置，刀杆另一端用吊架支承。

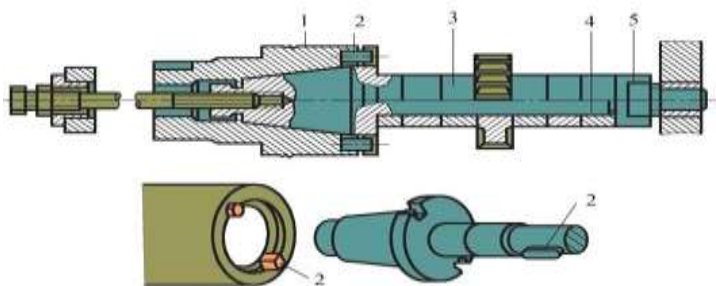


图 3 是安装圆柱铣刀的步骤



图 2 带孔铣刀的安装

课题三 视频

课题四 工件的装夹

一、装夹工件的基本要求

- (1) 夹紧力的大小应能保证加工过程中工件位置不发生变化。
- (2) 夹紧力不应破坏工件定位时所处的正确位置。
- (3) 夹紧机构应能调节夹紧力的大小。
- (4) 因夹紧力所产生的工件变形和表面损伤不应超过所允许的范围。
- (5) 应有足够的夹紧行程。
- (6) 夹紧机构应具有动作快、操作方便、体积小和安全等优点，并且有足够的强度和刚度。

二、常用装夹方法

在铣床上装夹工件的夹具很多，最常用的是机床用平口虎钳、压板和分度头。

1. 用机床用平口虎钳装夹工件

机床用平口虎钳安装在工作台台面上时，应注意仔细清除台面及虎钳底面的杂物和毛刺。对于长的工件，钳口应与主轴垂直。在立式铣床上应与进给方向一致。对于短的工件，钳口与进给方向垂直比较好。在粗铣和半精铣时，希望使铣削力指向固定钳口，因为固定钳口比较牢固。

2 用压板装夹工件

在铣床上用压板装夹工件时，所用的工具比较简单，主要是压板、垫铁、T形螺栓(或T形螺母和螺栓)及螺母。但为了满足装夹不同形状工件的需要，压板的形状也做成很多种，下图是压板、螺栓和垫铁的形式。

3 对中型、大型和形状比较复杂的工件，一般都利用压板把工件直接压牢在铣床工作台台面上。对于不太大的工件，如用面铣刀在卧式铣床上加工时，也往往利用压板装夹工件，如图所示。

注意事项：

- 1) 压板的位置要安排得当，压点要靠近切削面，压力大小要适合。粗加工时，压紧力要大，以防止切削中工件移动；精加工时，压紧力要合适，注意防止工件发生变形。
- 2) 工件如果放在垫铁上，要检查工件与垫铁是否贴紧了，若没有贴紧，必须垫上铜皮或纸，直到贴紧为止。
- 3) 压板必须压在垫铁处，以免工件因受压紧力而变形。
- 4) 安装薄壁工件，在其空心位置处，可用活动支撑（千斤顶等）增加刚度。（如冷凝器喷管）
- 5) 工件压紧后，要用划针盘复查加工线是否仍然与工作台平行，避免工件在压紧过程中变形或走动。

3. 用分度头安装工件

分度头安装工件一般用在等分工作中。它即可以用分度头卡盘（或顶尖）与尾架顶尖一起使用安装轴类零件，如图所示。

也可以只使用分度头卡盘安装工件，又由于分度头的主轴可以在垂直平面内转动，因此可以利用分度头在水平、垂直及倾斜位置安装工件，如图所示。

4 零件的生产批量较大时，可采用专用夹具或组合夹具装夹工件，这样既能提高生产效率，又能保证产品质量。

课题五 工件的切断和平面铣削

第一节 工件的切断

一、切断工艺基础知识

1. 切断用铣刀

锯片铣刀是在铣床上铣窄槽或切断工件时所用的铣刀，如图 2-1 所示。锯片铣刀的刀齿有粗齿、中齿和细齿之分。粗齿锯片铣刀的齿数少，齿槽的容屑量大，主要用于切断工件细齿锯片铣刀的齿数最多，齿槽的容屑量最小。中齿和细齿锯片铣刀适用于切断较薄的工件和铣窄槽。

2. 工件装夹

在切断工作中经常会因为工件的松动而使铣刀折断（俗称打刀）或工件报废，甚至发生安全事故，所以工件的装夹必须做到牢固、可靠。在铣床上切断或切槽时，根据工件的尺寸、形状不同，常用平口钳、压板或专用夹具等对工件进行装夹。

(1) 用平口钳装夹用平口钳装夹工件，无论是切断还是切槽，工件在钳口上的夹紧力方向应平行于槽侧面（夹紧力方向与槽的纵向平行），以避免工件夹住铣刀。

(2) 用压板装夹切断工件加工大型工件及板料时，多采用压板装夹工件，压板的压紧点应尽可能靠近铣刀的切削位置，压板下的垫铁应略高于工件。有条件的工件可用定位靠铁定位，装夹前先校正定位靠铁与主轴轴线平行（或垂直）。工件的切缝应选在 T 形槽上方，以免铣伤工作台台面。

二、工艺过程

1. 选择铣刀

2. 安装锯片铣刀

锯片铣刀的直径大而厚度薄，刚性较差，强度较低。受弯、扭载荷时，铣刀极易碎裂、折断。安装锯片铣刀时应注意以下几点：

(1) 安装锯片铣刀时，不要在刀杆与铣刀间装键。铣刀紧固后，依靠刀杆垫圈与铣刀两侧端面间的摩擦力带动铣刀旋转。

(2) 在靠近紧铣刀螺母的垫圈内装键，可以有效防止铣刀松动。

(3) 安装大直径锯片铣刀时，应在铣刀两端面用大直径的垫圈，以增大其刚性和摩擦力，使铣刀工作更加平稳。

(4) 为增强刀杆的刚性，锯片铣刀应尽量靠近主轴或吊架安装。

(5) 锯片铣刀安装后，应保证刀齿的径向和端面圆跳动不超过规定值方可使用。

3. 装夹工件

下料过程通常分两步进行。第一步先将较大的板料在工作台上用压板、螺栓装夹，切割成宽 55 mm 的长条状半成品；第二步再用平口钳装夹，切割成 55 mm×130mm 的矩形工件。

4. 工件切断

切断时应尽量采用手动进给，进给速度要均匀。若需采用机动进给时，铣刀切入或切出还需用手动进给，进给速度不宜太快，并将不使用的进给机构锁紧。切削钢件时应充分浇注切削液。

5. 工件检测

检测压板毛坯零件的尺寸时，一般不允许用游标卡尺，而应用钢直尺进行检测。

第二节 铣削平面

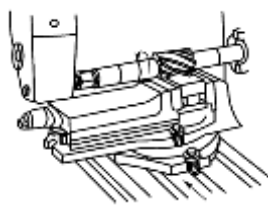
一、铣削平面的方法

用铣削方法加工工件的平面称为铣削平面简称铣平面。铣平面是铣床加工的基本工作内容，也是进一步掌握铣削其他各种复杂表面的基础。

平面的铣削方法主要有周铣和端铣两种。

1. 用圆柱铣刀铣削

圆周铣又简称周铣。它是利用分布在铣刀圆柱面上的刀刃来铣削并形成平面的。当周铣使用圆柱铣刀在卧式铣床上铣削时，铣出的平面与铣床工作台台面平行，如图 2



-3 所示

图 2 -3

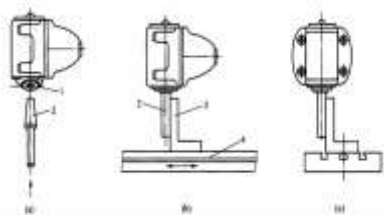
2. 用端面铣刀铣削

端铣是利用分布在铣刀端面上的刀刃来铣削并形成平面的。当使用端铣刀在立式铣床上铣削时，铣出的平面与铣床工作台台面平行，如图 2 -4 所示。当使用端铣刀在卧式铣床上铣削时，铣出的平面与铣床工作台台面垂直，如图 2 -5 所示。

3. 主轴轴线与进给方向垂直度的调整

(1) 立式铣床的调整(立铣头“零”位的找正)

①用 90° 角尺和锥度心轴进行找正时，取一锥度与立铣头主轴锥孔锥度相同的心轴，擦净立铣头主轴锥孔和心轴锥柄，轻轻将心轴锥柄插入立铣头主轴锥孔，将 90° 角尺尺座底面贴在工作台台面上，用尺座外侧测量面靠向心轴圆柱表面，观察其是否密合或间隙上下均匀，确定立铣头主轴轴线与工作台台面是否垂直。检测时，应分别在工作台纵向和横向两个方向上检验，见图 2-8 所示



②用百分表进行找正时，将表杆固定在立铣头主轴上，安装百分表，使百分表测量杆与工作台台面垂直。测量时，使测量触头与工作台台面接触，测量杆压缩 0.3~0.5 mm，记下表的读数，然后旋转立铣头主轴一周，记下读数，其差值在 300 mm 长度上应不大于 0.02 mm，见图 2-9 所示。检测时，应断开主轴电源开关，主轴转速挂在高速挡位置上。

(2) 卧式铣床的调整工作台“零位”的找正

①利用回转盘刻度找正时，只需使回转盘的“零”刻线对准鞍座上的基准线，铣床主轴轴线与工作台纵向进给方向即保持垂直。这种找正方法精度不高，只适应加工一般要求的工件。

②用百分表进行找正

二、顺铣与逆铣

1. 顺铣与逆铣

铣削有顺铣与逆铣两种铣削方式。

顺铣—铣削时，铣刀对工件的作用力在进给方向上的分力与工件进给方向相同的铣削称为顺铣。

逆铣—铣削时，铣刀对工件的作用力在进给方向上的分力与工件进给方向相反的铣削称为逆铣。

2. 周铣时的顺铣与逆铣

(1) 周铣顺铣的优缺点

①顺铣的优点。

1) 铣削时较平稳。对不易夹紧的工件及细长的薄板形工件尤为合适。

2) 铣刀刀刃切入工件时的切屑厚度最大，并逐渐减小到零。刀刃切入容易，且铣刀后面与工件已加工表面的挤压、摩擦小，故刀刃磨损慢，加工出的工件表面质量较高。

3) 消耗在进给运动方向的功率较小。

②顺铣的缺点。

1) 顺铣时，刀刃从工件的外表面切入工件，因此当工件是有硬皮和杂质的毛坯件时，容易磨损和损坏刀具

2) 顺铣时，在水平方向的分力与工件进给方向相同，会拉动铣床工作台。当工作台进给丝杠与螺母的间隙较大及轴承的轴向间隙较大时，工作台会产生间隙性窜动，易导致铣刀刀齿折断、铣刀杆弯曲、工件与夹具产生位移，甚至机床损坏等严重后果。

(2) 周铣逆铣的优缺点

①逆铣的优点。

1) 在铣刀中心进入工件端面后，刀刃沿已加工表面切入工件，铣削表面有硬皮的毛坯件时，对铣刀刀刃损坏的影响小。

2) 在水平方向的分力与工件进给方向相反，铣削时不会拉动工作台。

②逆铣的缺点。

1) 逆铣时，垂直方向的分力始终向上，对工件需用较大的夹紧力。

2) 逆铣时，在铣刀中心进入工件端面后，刀刃切入工件时的切削厚度为零，并逐渐增到最大，因此切入时铣刀后面与工件表面的挤压、摩擦严重，加速刀齿磨损，影响铣刀寿命，工件加工表面产生硬化层，影响工件已加工表面的加工质量。

3) 逆铣时，消耗在进给运动方面的功率较大。

(3) 周铣时顺铣与逆铣的选择：在铣床上进行周铣时，一般都采用逆铣。由于顺铣也有诸多优点，当丝杠、螺母传动副有间隙调整机构并将轴向间隙调整到较小(0.03~0.05mm)时；当在水平方向的分力小于工作台导轨间的摩擦力时；以及铣削不易夹牢薄而细长的工件时，可选用顺铣。

3. 端铣时的顺铣与逆铣

端铣时，根据铣刀与工件之间的相对位置不同，分为对称铣削与非对称铣削两种。端铣也有顺铣和逆铣。

(1) 非对称铣削铣削宽度 a_e 不对称于铣刀轴线的端铣称为非对称铣削，如图 2 -13 所示。按切入边和切出边根据所占铣削宽度的比例不同，非对称铣削分为非对称顺铣和非对称逆铣两种。

(2) 对称铣削铣削宽度 a_e 对称于铣刀轴线的端铣称为对称铣削，如图 2 -14 所示。

三、影响平面铣削精度的因素

1. 影响平面度的因素

(1) 用周铣铣削平面时，圆柱铣刀的圆柱度差。

(2) 用端铣铣削平面时，铣床主轴轴线与进给方向不垂直。

(3) 工件受夹紧力和铣削力的作用产生变形。

(4) 工件自身存在内应力，在表面层材料被切除后产生变形。

(5) 铣床工作台进给运动的直线度较差。

(6) 铣床主轴轴承的轴向和径向间隙大。

(7) 铣削中，由铣削热引起工件的热变形。

(8) 铣削时，由于圆柱形铣刀的宽度或端铣刀的直径小于被加工面的宽度而接刀，产生接刀痕。

2. 影响表面粗糙度的因素

(1) 铣刀磨损，刀具刃口变钝。

(2) 铣削时，进给量太大。

(3) 铣削时，切削深度太大。

(4) 铣刀的几何参数选择不当。

(5) 铣削时，切削液选择不当。

(6) 铣削时有振动。

(7) 铣削时有积屑瘤产生，或切屑有粘刀现象。

(8) 铣削时有拖刀现象。

(9) 铣削过程中因进给停顿，铣削力突然减小，而使铣刀下沉在工件加工面上切出凹坑(称为“深啃”)，

第三节 铣削垂直面和平行面

一、基准面的概念

在零件图中，用来确定其他表面等几何要素的位置的面称为基准面。

在加工中，基准面用作定位面。如在加工矩形工件(见图 2-15)时，要求铣出的平面 B 和平面 C 垂直于平面 D 平面 D 与平面 A 平行。在加工过程中，应以平面 A 来定位，故取平面 A 为定位基准面。

二、铣垂直面的方法

所谓铣垂直面，就是要求铣出的平面与基准面垂直。用圆柱铣刀在卧式铣床上铣出的平面和用面铣刀在立式铣床上铣出的平面，都与工作台台面平行。所以在这种条件下铣垂直面，只要把基准面安装得与工作台台面垂直就可以了。这就是铣垂直面需要注意的主要问题，至于加工方法，则与铣平面完全相同。

1. 将工件装夹在平口钳内加工
2. 将工件装夹在角铣上加工
3. 用压板装夹工件加工对于尺寸较大的工件

三、铣垂直面的质量分析

铣垂直面的质量分析除了表面粗糙度及平面度外，主要的铣削质量问题是加工面的垂直度超差，其主要原因有下列几点：

(1) 平口钳固定钳口与工作台台面不垂直。产生这种情况除了因虎钳安装和校正不好外，若夹紧力过大，也可能使平口钳变形，从而使固定钳口外倾。夹紧时，不应接长平口钳夹紧手柄，也不得用手锤猛敲手柄。因为过分施力夹紧，会使固定钳口外倾而不能回复到正确位置，使平口钳定位精度下降。尤其在精铣时，夹紧力不宜过大。

(2) 工件基准面与固定钳口不贴合。除了应修去工件毛刺，擦净工件基准面和固定

钳口污物外，还应在活动钳口处放置一根圆棒或放一条窄长而较厚的铜皮。

(3) 卧式铣床主轴垂直于钳口时圆柱铣刀或立铣刀有锥度进行周铣垂直面时，应重新磨准铣刀，保证圆柱铣刀和立铣刀的圆柱度要求。

(4) 基准面质量差。当基准面较粗糙和平面度较差时，将在装夹过程中造成误差，致使铣出的垂直面无法达到要求。

(5) 在卧式铣床上进行端面铣削垂直面时，工作台“零位”不准，工作台垂向进给铣削会影响垂直度。铣削前应校正工作台“零位”。

(6) 立式铣床主轴“零位”不准，其影响与在卧式铣床上进行端面铣削垂直面时工作台“零位”不准相似，铣削前应校正立铣头“零位”。

四、铣平行面的方法

1. 工件上有垂直于基准面的平面时

工件上有垂直于基准面的平面时，可利用这个平面进行装夹。工件在平口钳上装夹，可将该平面与固定钳口贴合，然后用铜锤轻敲顶面，使工件基准面与平钳导轨面贴合，这时铣出的工件顶面即与基准面平行。若工件直接装夹在工作台上时，见图 2-20，可采用定位块使基准面与工作台台面垂直并与进给方向平行，这时用面铣刀铣出的平面即为平行面。由于采用这种装夹方法加工平行面时，与垂直面的精度有密切关系，因而在加工前必须预先检查其垂直度，若不够准确则应进行修正或垫准)

2. 工件上没有与基准面垂直的平面

当工件上没有与基准面垂直的平面时，应设法使基准面与工作台台面平行。若在平口钳上装夹工件，下面最好垫两块等高的平行垫铁，见图 2-21。必要时，可在固定钳口的下部或上部垫铜皮或纸片。夹紧时，用铜锤轻敲工件顶面，使基准面与垫铁面紧贴，从而与工作台台面平行。若工件上有可供压板直接压紧的位置时，则可将工件直接装夹在工作台上加工，见图 2-22，使基准面与工作台台面贴合，然后铣出平行面。

3. 铣平行面时造成平行度误差的主要原因，有下列几个方面

1) 基准面与工作台台面之间没有擦干净

2) 由于平口钳导轨面与工作台台面不平行, 或因平行垫铁精度较差等因素, 使工件基准面无法与工作台台面平行

3) 若与固定钳口贴合的面垂直度差, 则铣出的平行面也会产生误差

4) 端铣时, 若进给方向与铣床主轴轴线不垂直, 将影响工件平面度。当进行不对称铣削时, 因两相对平面呈不对称凹面也影响工件平行度

5) 周铣时, 铣刀圆柱度差, 会影响加工面对基准面的平行

第四节 铣削斜面

一、斜面的铣削方法

1. 斜面

斜面在图样上有两种表示方法

(1) 用倾斜角度 β 的度数 ($^{\circ}$) 表示

(2) 用斜度 S 的比值表示

2. 铣削方法

铣削斜面时, 工件、机床、刀具之间关系必须满足两个条件: 一是工件的斜面应平行于铣削时铣床工作台的进给方向; 二是工件的斜面应与铣刀的切削位置相吻合, 即用圆柱铣刀铣削时, 斜面与铣刀的外圆柱面相切; 用端面刃铣刀铣削时, 斜面与铣刀的端面相重合。

在铣床上铣斜面的方法有: 工件倾斜铣斜面、铣刀倾斜铣斜面和用角度铣刀铣斜面三种。

(1) 把工件倾斜装夹铣削斜面在卧式铣床或在立铣头不能转动角度的立式铣床上铣斜面时, 可将工件倾斜所需角度后, 铣削斜面。

(2) 把铣刀倾斜铣削斜面在立铣头主轴可转动角度的立式铣床上, 安装立铣刀或端铣刀, 用平口钳或压板装夹工件, 可以铣削要求的斜面。用平口钳装夹工件时, 常用的

方法有以下两种:①工件的基准面与工作台台面平行装夹工件。②工件的基准面与工作台台面垂直装夹工件。

(3)用角度铣刀铣削斜面宽度较窄的斜面,可用角度铣刀铣削,如图2-31所示。

二、影响斜面铣削精度的因素

1. 影响斜面尺寸精度的因素:

- ①看错刻度或摇错手柄转数,以及没有消除丝杠螺母之间的间隙。
- ②测量不准,将尺寸铣错。
- ③铣削过程中,工件有松动现象。

2. 影响斜面角度的因素:

- ①立铣头转动角度不准确。
- ②按画线装夹工件铣削时,画线不准确或铣削时工件产生位移。
- ③采用周铣时,铣刀圆柱度误差大(例如有锥度)。
- ④用角度铣刀铣削时,铣刀角度不准。
- ⑤工件装夹时,平口虎钳钳口、钳体导轨面及工件表面未擦净。

3. 影响斜面表面粗糙度的因素:

- ①进给量过大。
- ②铣刀不锋利。
- ③机床、夹具刚性差,铣削中有振动。
- ④铣削过程中,工作台进给或主轴回转时突然停止,啃伤工件表面
- ⑤铣削钢件时未使用切削液,或切削液选用不当。

课题六 铣削阶台、直角沟槽与键槽

第一节 铣削阶台

一、铣削阶台的方法

1. 用三面刃铣刀铣削

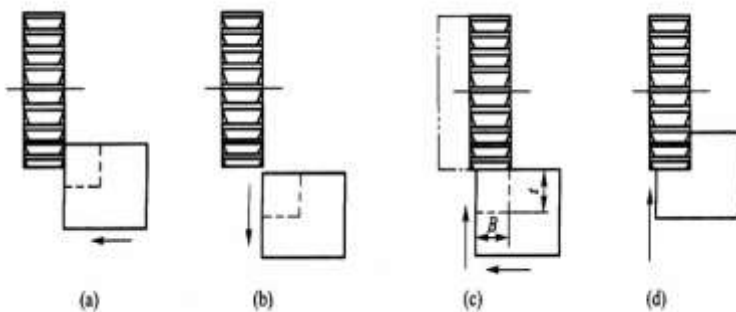
三面刃铣刀有直齿和错齿两种。直径大的错齿三面刃铣刀大多是镶齿式结构，当某一刀齿损坏后，只对一个刀齿进行更换即可。由于三面刃铣刀的直径和刀齿尺寸都比较大，容屑槽也较大，所以刀齿的强度大，排屑、冷却较好，生产效率较高，因此在铣削宽度 B 小于 25 mm 的阶台时，一般都采用三面刃铣刀加工。铣削时，三面刃铣刀的圆柱面刀刃起主要的切削作用，两个侧面刀刃起修光作用。

(1) 铣刀选择主要选择三面刃铣刀的宽度 L 和直径 D 。三面刃铣刀的宽度应大于阶台宽度，即 $L > B$ ，以便在一次进给中铣出阶台的宽度。铣削中，为使阶台的上平面能在回转的铣刀杆下通过，三面刃铣刀的直径应按下式计算确定：

$$D > d + 2t$$

(2) 工件的装夹和找正一般工件可用平口虎钳装夹；尺寸较大的工件可用压板装夹；形状复杂的工件或大批量生产时可用专用夹具装夹。采用平口虎钳装夹工件时，应找正固定钳口与铣床主轴轴线垂直。装夹工件时，应使工件的底面靠向钳体导轨面，阶台底面应高出钳口的上平面，以免将钳口铣坏

(3) 铣削方法工件装夹找正后，手摇各进给手柄，使回转的铣刀侧面刃擦着阶台侧面的贴纸，见图 3-2 (a)；然后垂直降落工作台，见图 3-2 (b)；工作台横向移动一个阶台宽度 B 后紧固横向进给；再上升工作台，使铣刀的圆柱面刀刃擦着工件上表面的贴纸，如图 3-2 (c) 所示；摇动工作台纵向进给手柄，退出工件，上升工作台一个阶台深度，摇动纵向进给手柄使工件靠近铣刀，手动或自动纵向进给铣出阶台，如图 3-2 (d)



所示。

(4) 用一把三面刃铣刀铣双面阶台铣削时，可先铣出一侧的阶台，然后退出工川将工作

台横向进给移动一个距离 A ($A=L+C$), 紧固横向进给后铣出另一侧阶台, 如图 3-4 所示。

2. 用端铣刀铣削阶台

宽度较宽且深度较浅的阶台, 常使用端铣刀在立式铣床上铣削。端铣刀刀杆刚度大, 铣削时切屑厚度变化小, 切削平稳, 加工表面质量好, 生产率较高。铣削时, 所选用端铣刀的直径应大于阶台宽度, 一般可按 $D = (1.4 \sim 1.6) B$ 选取 (见图 3-5)。

第一节 铣削阶台

3. 用立铣刀铣削阶台

深度较深的阶台或多级阶台, 可用立铣刀在立式铣床上铣削阶台宽度, 然后再将阶台精铣成形。由于立铣刀刚度小, 强度较弱铣削时, 可分几次粗铣出, 铣削时选用的切削用量比使用三面刃铣刀铣削时要小, 否则容易产生“让刀”甚至折断铣刀 (见图 3-6)

4. 用组合铣刀铣削阶台

成批生产时, 可采用两把三面刃铣刀组合铣削的方法铣削阶台 (图 3-7), 不仅可提高生产效率, 而且操作简单, 并能保证工件质量。

二、测量阶台的方法

阶台的宽度和深度一般可用游标卡尺、深度游标卡尺测量两边对称的阶台, 当阶台深度较深时, 可用千分尺测量; 阶台深度较浅时, 可用极限量规测量, 如图 3-8 所示。

三、影响阶台铣削精度的因素

1. 影响尺寸精度的因素

工作台移动时尺寸摇得不准

侧量不准确。

铣削中, 铣刀受力不均匀出现“让刀”现象

铣刀摆差太大

工作台“零位”不准, 用三面刃铣刀铣阶台时会使阶台上窄下宽

2 影响形状位置精度的因素

平口钳固定钳口找正不准确，或用压板装夹时工件找正不准确，使铣出的阶台产生歪抖。

工作台“零位”不准，用三面刃铣刀铣削时不仅会使阶台上窄下宽，而且还会把阶台侧面铣成凹面。

立铣头“零位”不准，纵向进给用立铣刀铣削时会将阶台底面铣成凹面。

3. 影响表面粗糙度的因素

铣刀变钝。

铣刀径向圆跳动太大。

铣削用量选择不当，尤其是进给量过大。

铣削钢件时没有使用切削液，或切削液选用不当。

铣削时振动太大，未使用的进给机构没有紧固，工作台产生窜动现象。

第二节 铣削直角沟槽

一、直角沟槽的铣削方法

1. 用立铣刀铣直角沟槽

封闭式的直角沟槽一般都采用立铣刀或键槽铣刀加工。立铣刀最适宜加工两端封闭、底部穿通、槽宽精度要求较低的直角沟槽，如各种压板上的穿通槽。由于立铣刀的端面切削刃不通过中心，因此，加工封闭式直角沟槽时要预钻落刀孔。

立铣刀的强度及装夹刚度较小，容易折断或让刀，加工较深的槽时应分层铣削，进给量要比三面刃铣刀小些。对于槽宽要求较高、深度较浅的封闭式或半封闭式直角沟槽，可采用键槽铣刀加工。

第二节 铣削直角沟槽

2. 用三面刃铣刀铣削直角沟槽

敞开式直角沟槽又称直角通槽。当尺寸较小时，通常都用三面刃铣刀加

工，成批生产时采用盘形槽铣刀加工。

3. 用合成铣刀铣直角沟槽

成批加工宽度较大的沟槽，可用合成铣刀加工，见图(3-9)。它由两半部镶合而成，当铣刀刀齿因刃磨而变窄时，中间可加垫圈或铜皮，使铣刀宽度增大到所需要的尺寸。这种铣刀左半部分为左旋，右半部分为右旋，比盘形槽铣刀切削性能好，更适宜于成批、大量生产。

第二节 铣削直角沟槽

二、铣削步骤

现以加工图 3-10 所示的压板为例，用立铣刀在立式铣床上加工，其铣削方法和步骤如下：

- (1) 选择铣刀根据沟槽尺寸。
- (2) 装夹工件工件的装夹如图 3-11 所示。
- (3) 选择铣削用量
- (4) 调整铣刀与工件的相对位置

第三节 铣削键槽

一、键槽

1. 键槽的作用

键连接是通过键将轴与轴上零件(如齿轮、带轮、凸轮等)连接在一起，实现周向固定，并传递转矩的连接。键连接属于可拆卸连接，具有结构简单、工作可靠、装拆方便和已经标准化等特点，故得到广泛的应用。键连接中使用最普遍的是平键连接。平键是标准件，它的两侧面是工作面，用以传递转矩。轴上的键槽俗称轴槽，轴上零件(即套类零件)的键槽俗称轮毂槽。轴槽与轮毂槽都是直角沟槽。轴槽多用铣削的方法加工。

2. 对键槽的技术要求

由于轴槽的两侧面与平键两侧面相配合，以传递转矩，是主要工作面，因此，轴槽宽度的尺寸精度要求较高(IT9 级)，两侧面的表面粗糙度值较小($Ra 3.2 \mu m$)，轴槽对轴线的对称度公差为 7~9 级。轴槽的深度、长度尺寸要求较低，槽底面的表面粗糙度值较大。

二、铣削键槽的方法

轴上键槽有通槽、半通槽和封闭槽三种，如图 3-12 所示。轴上的通槽和槽底一端是圆弧形的半通槽，一般选用盘形槽铣刀铣削，轴槽的宽度由铣刀宽度保证，半通槽一端的槽底圆弧半径由铣刀半径保证。轴上的封闭槽和槽底一端是直角的半通槽，用键槽铣刀铣削，并按轴槽的宽度尺寸来确定键槽铣刀的直径。

第三节 铣削键槽

1. 工件的装夹

装夹工件不但要保证工件稳定、可靠，还要保证轴槽的中心平面通过轴线。常用的装夹方法有以下几种：

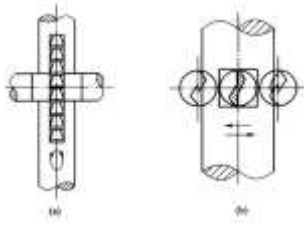
- (1) 用平口钳装夹
- (2) 用 V 形架装夹
- (3) 用分度头装夹

2. 铣刀位置的调整

为保证轴上键槽的对称度，必须调整铣刀的位置，使键槽铣刀的轴线或盘形槽铣刀的对称平面通过工件的轴线。常用的调整方法有：

(1) 按切痕调整工件对中心这种方法对中精度不高，但使用简便，是最为常用的一种方法。

① 盘形槽铣刀切痕调整方法 [图 3-18]



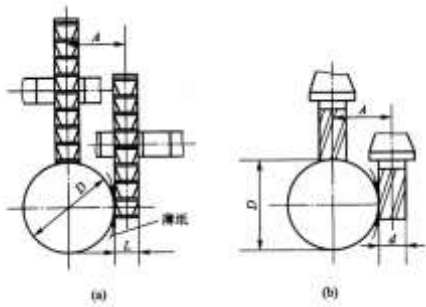
(a) 盘形槽铣刀切痕对中心；(b) 键槽铣刀切痕对中心

(a)]

②键槽铣刀切痕调整方法[图 3-18 (b)]

(2)擦侧面调整工件对中心这种方法对中精度较高，适用于直径较大的盘形槽铣刀或键槽铣刀较长(相对工件直径而言)的场合。调整时，先在工件侧面贴一薄纸，开动机床，使回转的铣刀逐渐靠向工件，当铣刀的刀刃擦到薄纸后，降下工作台退出工件，再将工作台横向移动一个距离 A(图 3-19)，A 可用下式计算：

用 盘 形 槽 铣 刀



(a) 用盘形铣刀铣削时对中；(b) 用键槽铣刀铣削时对中

时：

$$A = \frac{D + L}{2} + \delta$$

$$\text{用键槽铣刀时：} A = \frac{D + d}{2} + \delta$$

(3)用杠杆百分表调整铣刀位置对中心这种方法对中精度高，适合在立式铣床上采用，见图 3-20 调整时，将杠杆百分表固定在立铣头主轴上，用手转动主轴，观察百分表在钳口两侧、V 形架两侧和角尺两侧的读数，横向移动工作台使两侧读数相同。

3. 铣削键槽的方法

(1)铣通键槽铣削通槽或一端为圆弧形的半通槽时，一般都采用盘形槽铣刀来加工对于长轴类零件，若外圆已经磨削，则可采用平口钳装夹进行铣削。为避免因工件伸出钳口太多而产生振动和弯曲，可在伸出端用千斤顶支撑[图 3-21 (a)]。若采用一夹一顶装夹下件铣削通键槽时，中间需用千斤顶支撑。

(2) 铣削封闭键槽用键槽铣刀铣削轴上封闭槽的方法有以下两种：

①分层铣削法。分层铣削法是用符合键槽宽度尺寸的铣刀分层铣削键槽，如图 3-23 所示。

②扩刀铣削法。扩刀铣削法是用直径较小的键槽铣刀(比槽宽尺寸小 0.5 mm 左右)进行分层往复粗铣至槽深，深度留余量 0.1~0.3 mm，槽长两端各留余量 0.2~0.5 mm，再用符合轴槽宽度尺寸的键槽铣刀精铣，如图 3-24 所示。精铣时，由于铣刀的两个刀刃的径向力能相互平衡，所以铣刀偏让量较小，键槽的对称度好。但应当注意消除横向进给丝杠和螺母配合间隙的影响，以免键槽中心位置偏移。

三、键槽的检测

1. 键槽长度和深度的检测

轴上键槽的长度和深度可用游标卡尺或千分尺检测。封闭槽的深度可用图 3-25 所示的方法检测。用游标卡尺测量时，可在轴槽内放一块比槽深略高的平键，量得尺寸减去平键高度尺寸即为槽深。宽度大于千分尺测量杆直径的轴槽，可用千分尺直接测量[图 3-25 (b)]。

2. 轴槽宽度的检测

常用塞规或塞块检测，如图 3-26 所示

3. 键槽对称度的检测

将工件置于 V 形架上，选择一块与轴槽尺寸相同的塞块塞入轴槽内，并使塞块的平面大致处于水平位置，用百分表检测塞块的 A 面与平板(或工作台台面)平面平行并读数，然后将工件转动 180°，用百分表检测塞块 B 面与平板平面平行并读数，两次读数的差值的一半就是轴上键槽的对称度误差。

四、影响键槽铣削精度的因素

1. 影响尺寸精度的因素

①没有经过试铣检查铣刀尺寸，就直接铣削工件，造成尺寸误差。

②用键槽铣刀铣键槽，铣刀径向圆跳动过大；用盘形槽铣刀铣键槽，铣刀端面圆跳动过大，将轴槽铣宽

③铣削时，吃刀深度过大，进给量过大，产生“让刀”现象，将槽铣宽

2. 影响对称度的因素

①铣刀对中不准。

②铣削中，铣刀让刀量太大

③成批生产时，工件外圆尺寸误差太大。

④轴槽两侧扩铣余量不一致。

3. 影响键槽两侧面与轴线平行度的因素

①工件外圆直径圆柱度超差。

②用平口钳或 V 形架装夹工件时，平口钳或 V 形架没有找正好

4. 影响键槽底与轴线平行度的因素

①工件的上素线未找准水平。

②选用的垫铁不平行，或选用的两 V 形架不等高。

课题七 铣削特形沟槽

第一节 铣削 T 形槽

一、T 形槽铣刀

T 形槽铣刀是专门用来加工 T 形槽底槽的，通常有锥柄和直柄两种，见图 4-1。其切削部分与盘形铣刀相似，又可分为直齿和交错齿两种，较小的 T 形槽铣刀，由于受 T 形槽直槽部分尺寸的限制，刀具柄部和刀头连接部分直径较小，因而刀具刚度和强度均比较

二、铣削 T 形槽方法

根据 T 形槽的形状，要完成 T 形槽的铣削，必须经过如下三个步骤，见图 4 -2。

第一节 铣削 T 形槽

1. 铣削直角槽

在卧式铣床上用三面刃盘铣刀或在立式铣床上用立铣刀，铣削出直角槽 [图 4-2 (a), (b)]。

2. 铣削 T 形槽底槽 [图 4-2 (c)]

3. 槽口倒角

铣削好 T 形槽后，可换装倒角铣刀铣倒角 [图 4-2 (d)]。铣削倒角时应注意两边对称。

在实际生产中，还常遇到两头不穿的 T 形槽，这时应首先加工 T 形槽铣刀落刀孔。另外，为了改善切屑的排出条件，减少铣刀端面与槽底面的摩擦，可征得设计人员的同意，把直角槽铣削得深一些。

第一节 铣削 T 形槽

三、铣刀折断的原因

T 形槽加工最容易产生铣刀折断，其原因主要有以下几方面：

(1) T 形槽铣刀的刚度和强度均比较小，尤其是颈部直径较小，当受到过大的铣削反力和冲击力时，铣刀就容易折断。因此，加工 T 形槽时一定要注意合理选择铣削用量，刚开始对刀铣削时，要注意缓慢进行，以免刀具折断或崩刃。

(2) 由于排屑不畅，切削热量不易散发，铣刀容易发热，甚至发生退火，失去切削能力以致折断。因此，在铣削过程中，要注意排屑和冷却，铣削钢件时，更应冲注足够的切削液。

(3) 铣削过程中切屑排出困难，切屑将铣刀容屑槽填满，使铣刀失去切削能力，以致折断。尤其是较长的 T 形槽，铣削到中间部分，常发生这种情况。因此，加工过程中要经常清除切屑以防阻塞。

第一节 铣削 T 形槽

四、铣削步骤

现以图 4-3 工件为例，介绍在 X52K 型立式铣床上铣削 T 形槽的加工方法步骤。

1. 铣削直角槽

(1) 选择铣刀

(2) 选择铣削用量

(3) 工件的装夹及找正

(4) 对刀

(5) 调整铣削层深度

(6) 铣削对刀后第一次工作台上升 22 mm，第二次工作台升高 14mm，待铣刀切入工件后改为机动进给，并使两次进给方向相同。铣削时手动进

2. 铣削 T 形槽底槽

(1) 选择铣刀选用 T 形槽基本尺寸为 18 mm 的直柄 T 形槽铣刀，铣刀直径 $d_0=30$ mm，宽度 $L=14$ mm

(2) 选择铣削用量因为 T 形槽铣刀强度较低，排屑又困难。故选择较小的铣削用量，现调整主轴转速 $n=118$ r/min，进给速度 $v_f=23.5$ mm/min

(3) 对刀直角槽铣削后，因工作台横向未移动，换装 T 形槽铣刀后，不必重新对刀。如果工件是重新安装或工作台横向已经移动，其对刀方法如下：

①刀柄对刀

②目测对刀如前文所述

(4) 调整铣削层深度有两种方法：

①贴纸试切工件表面贴一张薄纸，将工作台垂向缓缓上升，待铣刀擦去薄纸时，工件退离铣刀，工作台上升 36 mm(视情况考虑薄纸厚度)。

②擦刀试切铣直角槽时已将深度铣到 36 mm，只需将 T 形槽铣刀擦出的刀痕与直角

槽底接平即可。

(5) 铣削先手动进给，待底槽铣出一小部分时，测量槽深，如符合要求可继续手动进给，当铣刀大部进入工件后改用机动进给。铣削时要及时清除切屑，以免铣刀折断。

3. 铣削倒角

(1) 选择铣刀选用外径 $d_0 = 25 \text{ mm}$ ，角度 $\theta = 45^\circ$ 的反燕尾槽铣刀。

(2) 选择铣削用量调整主轴转速 $n = 235 \text{ r/min}$ ，进给速度 $v_f = 47.5 \text{ mm/min}$

(3) 对刀底槽铣削后，因工作台横向未移动，中心位置不变。只需工作台垂向上升，使铣刀与槽口接触后退离工件。

(4) 铣削工作台垂向上升 1.6 mm ，机动进给铣削。

第二节 铣削燕尾槽

一、铣削燕尾槽的方法

1. 铣削燕尾槽和燕尾块的方法

燕尾槽和燕尾块的铣削方法分两个步骤，先在立式铣床上用端铣刀铣直角槽或立铣刀或阶台，然后用燕尾槽铣刀铣出燕尾块或燕尾槽(见图 4-4)，

燕尾槽铣刀应根据燕尾的角度选择相同角度的铣刀，铣刀锥面的宽度应大于燕尾槽斜面的宽度。

2. 用单角铣刀铣削燕尾块和燕尾槽

单件生产时，若没有合适的燕尾槽铣刀，可用与燕尾角度相等的单角铣刀来铣削燕尾槽、燕尾块，如图 4-5 所示。铣削时，立铣头应倾斜一个燕尾角度 α ，因铣刀偏转角度较大，安装单角铣刀的刀杆长度也应适当增加。

3. 铣削带有斜度的燕尾槽

铣削带有斜度的燕尾槽时，在铣削完直槽后，先用燕尾槽铣刀铣削无斜度的一侧，铣好后松开压板，将工件按规定斜度调整到与进给方向成一斜角，并将工件固紧，然后铣削带有斜度的一侧。

二、燕尾槽的精度检验

1. 角度的检验

燕尾槽、燕尾块的角度可用游标万能角度尺测量

2. 槽深的检验

燕尾槽的槽深、燕尾块的高度可用深度、高度游标卡尺测量

3. 燕尾槽和燕尾块宽度的检验

燕尾槽、燕尾块的宽度须用两标准量棒间接测量，如图 4 -6 所示。用游标卡尺测得两标准量棒之间距离尺寸 M 或 M

可计算出燕尾槽的宽度 A 或燕尾的宽度 a

$$A = M + d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right) - 2H \cot \alpha$$

$$B = M + d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$$

燕尾块宽度的计算：

$$a = M_1 - d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$b = M_1 + 2h \cot \alpha - d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$$

四、影响特形沟槽铣削精度的因素

1. 影响尺寸精度的因素

- ①铣刀尺寸不准，使 T 形槽直槽宽度和燕尾槽宽度不准
- ②铣 V 形槽时，深度不准使 V 形槽宽度尺寸不准
- ③工作台移动距离不准。

2. 影响形状位置精度的因素

- ①铣刀的形状不准确。
- ②用通用铣刀(如立铣刀、角度铣刀等)铣削特形沟槽时，立铣头倾斜角度不准确

3. 影响表面粗糙度的因素

- ① 铣刀磨损变钝。
- ② 切屑排除不畅，有阻塞。
- ③ 铣削用量选择不当。
- ④ 铣削时有振动。
- ⑤ 切削液浇注不够充分。

第三节 铣削半圆键槽

一、半圆键槽的铣削方法

1. 半圆键槽所用铣刀

半圆键槽需用半圆键槽铣刀铣削，半圆键槽铣刀一般都做成直柄的整体铣刀。半圆键槽铣刀的刀颈部分较细，所以铣削时易造成铣刀的折损。使用时，用钻夹头或弹簧夹头装夹；铣刀按半圆键槽铣刀的基本尺寸（宽度×直径）选取。

2. 装夹并校正工件

为保证铣出的键槽两侧面与其轴线平行，应使用标准心轴先校正分度头主轴与尾座顶尖间的公共轴线与工作台台面和纵向进给方向平行后，再装夹试件进行试切。

3. 选择并安装铣刀

根据图 4-8 零件图要求，现选择小 28 mm×8 mm 半圆键槽铣刀。用钻夹头安装铣刀后，先对废料进行试铣削，用塞规或量块检测槽的宽度尺寸，符合要求后再正式铣削。

4. 铣削半圆键槽

铣削时先按画线试切对刀，试切的椭圆形切痕的短轴应正好处在半圆键槽的中心位置（距左端 25 mm 处），并相对所画槽宽位置线处于对称位置，如图 4-9 所示。

对好刀后，先锁紧纵向进给手柄，以手动方式慢慢地进行横向进给，并逐渐减慢进给速度以防止铣刀折断。为改善散热条件，要充分浇注切削液。

5. 半圆键槽的检测

(1) 半圆键槽的宽度一般用塞规或塞块检测。

(2) 半圆键槽的深度可选用一块厚度小于槽宽的样柱(直径为 d , d 小于半圆键槽直径), 以配合游标卡尺或千分尺进行间接测量。如图 4-8 所示, 槽深 $H=S - d$

(3) 半圆键槽两侧面相对工件轴线的对称度测量方法与轴上键槽相同)

课题八 花键、牙嵌式离合器的铣削

花键和离合器是机器中常用的零部件, 可以在普通铣床和数控铣床上进行加工。花键和离合器的外形不同, 采用的加工方法也不同, 本章所介绍的主要是在普通铣床上进行加工的方法。

8.1.1 花键连接简介

轴和轮毂孔周向均布多个凸齿和凹槽所构成的连接称为花键连接。花键齿的侧面是工作面。

1. 花键的使用特点及适用场合

由于结构形式和制造工艺的不同, 与平键连接比较, 花键连接在强度、工艺和使用方面有下列特点:

- (1) 在轴上或毂孔上直接而均匀地制出较多的齿与槽, 故连接受力较为均匀。
- (2) 因槽较浅, 齿根处应力集中较小, 轴与毂的强度削弱较小。
- (3) 齿数较多, 总接触面积较大, 可承受较大的载荷。
- (4) 轴上零件与轴的对中性好, 这对高速及精密机器很重要。
- (5) 定心精度高, 导向性好, 这对动连接很重要。
- (6) 可用磨削的方法提高加工精度及连接质量。
- (7) 制造工艺较复杂, 有时需要专用设备, 成本较高。
- (8) 花键齿可采用完善的加工工艺, 两被连接件的定心性好, 带毂零件能沿轴移动, 零件的互换性也容易保证。

花键适用于定心精度要求高、传递转矩大或经常滑移的连接。

2. 花键的分类

按齿形的不同，花键连接可分为矩形花键和渐开线花键两类，这两类花键均已标准化，如图 8-1 所示。

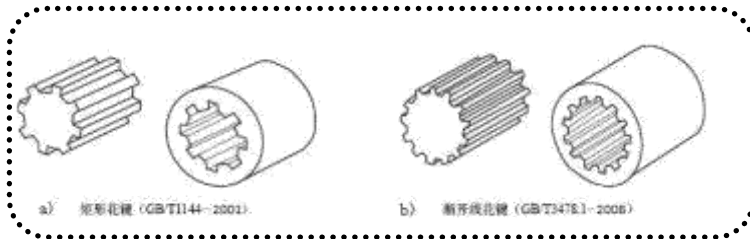


图 8-1 花键

1) 矩形花键

矩形花键应用很广，可用制造齿轮的方法进行加工，工艺性好。矩形花键的规格尺寸见表 8-1。按齿高的不同，矩形花键的齿形尺寸在标准中规定两个系列，即轻系列和中系列。轻系列的承载能力较低，多用于静连接或轻载连接；中系列用于中等载荷连接。矩形花键连接的定心方式有小径定心、大径定心和齿侧定心三种，如图 8-2 所示。矩形花键的特点是定心精度高，定心的稳定性好，能用磨削的方法消除热处理引起的变形。矩形花键连接是应用最为广泛的花键连接。如航空发动机、汽车、燃气轮机、机床、工程机械、农业机械及一般机械传动装置等等。

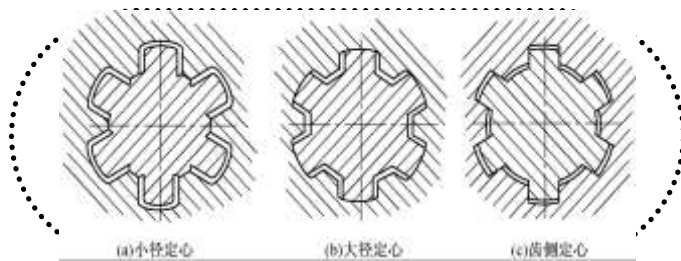


图 8-2 矩形花键定心方式

2) 渐开线花键

渐开线花键的齿廓为渐开线，分度圆压力角 α 有 30° 及 45° 两种，齿顶高有 $0.5m$ 和 $0.4m$ (m 为模数) 两种。渐开线花键齿根较厚且齿根圆较大，承载能力高，可以用制造齿轮的方法来加工，工艺性较好，易获得较高的制造精度和互换性。

渐开线花键的定心方式为齿形定心，受载时齿上有径向力，能起自动定心作用，有利于各齿受力均匀，强度高，寿命长。渐开线花键用于载荷较大，定心精度要求较高以及尺寸较大的连接，如航空发动机、燃气轮机、汽车等。压力角 45° 的花键多用于轻载、小直径和薄型零件的连接。

8.1.2 用单刀铣削矩形齿外花键

在铣床上加工各种外花键，工艺上有许多相同之处。在铣床用单刀铣削矩形齿外花键，以加工大径定心的矩形花键轴为主，它的大径精度要求较高，同时，对花键齿宽度的要求也比较严格，较多用于单件生产或维修加工。对于以小径定心的花键轴，只能进行粗加工。

1. 工件的装夹与校正

图 8-4 外花键的校正工件是装夹在分度头和尾座或三爪自定心卡盘和尾座之间，如图 8-3 所示。用百分表对工件进行校正，如图 8-4 所示。校正的内容包括工作台纵向与工件侧面素线的平行度、工作台面与工件上素线的平行度和工件自身两端的径向圆跳动。

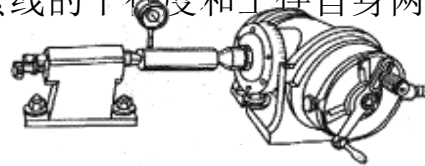
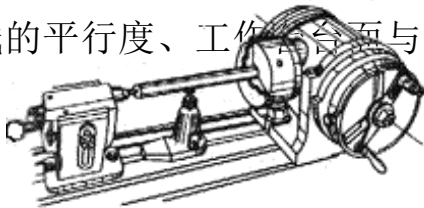


图 8-3 外花键的装夹

图 8-4 外花键的校正

2. 铣刀的选择及对刀

1) 铣刀的选择

为保证铣刀的端面圆跳动和键齿侧面的表面粗糙度 $Ra3.2\sim1.6\mu m$ ，应选择外径尽可能小一些、宽度适当的标准三面刃铣刀。花键槽底圆弧面（小径）的铣削可选用宽度为 $2\sim3\text{ mm}$ 的细齿锯片粗铣或用成形刀头精铣。

2) 对刀

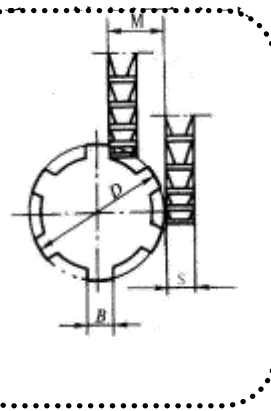
对刀的目的是为了保证花键的键宽和两键侧面的对称性，所以必须让三面刃铣刀的侧面刀刃与花键齿侧面重合，常用的对刀方法有擦边对刀法、划线对刀法、切痕对刀法。擦边对刀法。如图 8-5 所示，将铣刀的侧面刀刃慢慢靠

纸，接触上后，垂直向下退出工件，然后把工作台向一个距离 M 。

(8-1 式中， M 为工作台横向移动距离

(mm)； D 为花键大径

(mm)； B 为花键宽 (mm)； s 为贴纸厚度 (mm)。



这种对刀方法比较简单，只适用于工件外径不大、铣刀柄不会与工件相碰的场合。

(2) 划线对刀法。在工件上划出中心线，然后用高度游标卡尺在工件外圆柱面的两侧，比中心线高 $1/2$ 键宽处各划一条线，如图 8-6(a) 所示。再用分度头分度把工件旋转 180° ，重复上一动作，如图 8-6(b) 所示。然后细心检查所划线之间的宽度是不是与键宽相等，如不相等，则需重新划线调整至等于键宽为止。接着将分度头转过 90° ，所划线部分外圆朝上，再用高度游标尺在工件端面划出花键的深度线，如图 8-6(c) 所示。铣削时把三面刃铣刀的侧面刀刃对准键的侧面，圆周刀刃对准花键深度线，完成划线对刀。

图8-5 擦边对刀法

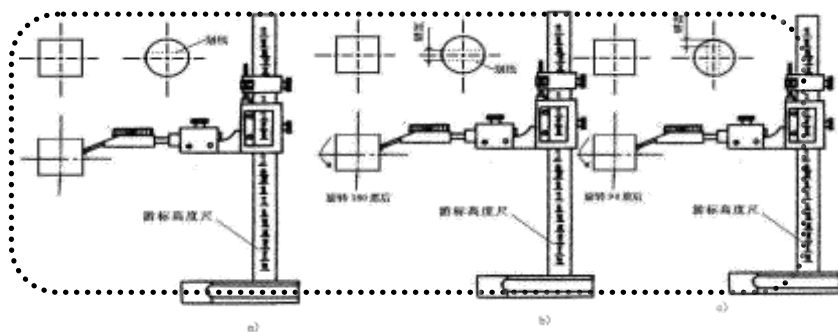


图 8-6 划线对刀法

(3) 切痕对刀法。切痕对刀法又称为试切对刀法，将一根直径与工件直径大小相同的试件装夹在分度头的三爪自定心卡盘与尾座顶尖间，用划线对刀法和侧面对刀法初步对刀，然后在试件上加工出适当长度的花键侧面 a，将工件退出后，分度头将工件转过 180° 铣出侧面 b，如图 8-7 (a) 所示。将工件横向移动（移动距离等于键宽与铣刀宽之和）铣出另一侧面 c，如图 8-7 (b) 所示。退出工件，将分度头转过 90° ，用游标高度尺测量比较键侧面 a 和 c 的高度是否一致，如图 8-7 (c) 所示。如不同，需进行调整。对刀成功后换上工件就可以正式加工了。这种对刀方法要比侧面对刀法和划线对刀的对刀精度高很多。

3. 花键的铣削

用一把三面刃铣刀铣削外花键时，应先确定切削位置，然后通过分度头的每次分度，先铣好一侧，如图 8-8 (a) 所示。接着，将工件移动一个距离 S ，再铣另一侧，如图 8-8 (b) 所示。距离 S 的计算公式为

$$(8-2)$$

式中， B 为花键齿宽度 (mm)； H 为三面刃铣刀宽度 (mm)； T 为花键齿宽度公差尺寸 (mm) 利用这种方法加工出来的花键，槽底会带有尖棱，所以需要使用小宽度的三面刃铣刀对好位置后，通过分度头摇柄使工件来回转动，尖棱铣成圆弧状，分别如图 8-8 (c) 和图 8-8 (d) 所示。槽底的圆弧形的成形单刀头一次铣出，如图 8-9 所示。但必须注意，使用这种方法不准会使铣出的槽底圆弧中心与工件中心不同心。

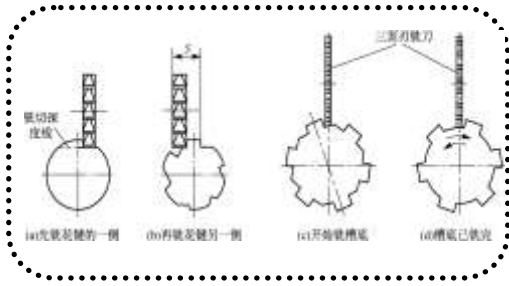


图 8-9 用成形单刀头铣槽底

8.1.3 用组合铣刀铣削矩形齿外花键

在工件加工数量较多，缺少专用的成形花键铣刀的情况下，常使用两把三面刃组合铣刀铣削花键，使外花键的左、右侧面同时铣出，如图 8-10 (a) 所示。当花键铣出后，会在槽底留下尖棱，这时可采用成形铣刀铣槽底，如图 8-10 (b) 所示。相对于单刀铣削来说，用组合铣刀铣外花键可以提高生产效率，简化操作步骤。

在选择和组合铣刀时应注意以下几点：

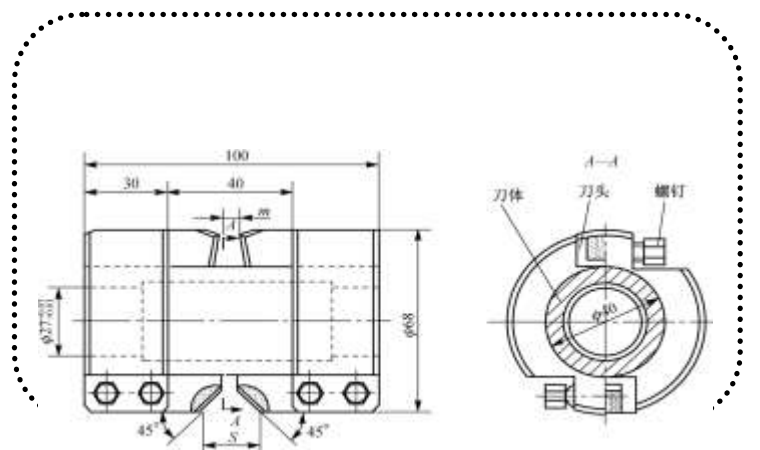
- (1) 对刀调整铣刀的切削位置时，两铣刀内侧刀刃应对称于工件轴线。
- (2) 选用的两把三面刃铣刀必须规格相同、直径相等。
- (3) 为保证铣出的键宽符合规定的尺寸要求，应使两铣刀内侧刀刃间的距离与花键键宽相等。

采用组合铣刀铣削花键时，工件的装夹和校正方法与单刀铣削相同。

8.1.4 用铣刀盘铣外花键

当被加工外花键数量较多时，可制作如图 8-11 所示的铣刀盘在卧式或万能铣床上进行加工。

铣刀盘安装在铣刀柄上，



刀头用刀盘上的 M8 螺钉固定。

刀盘的左右两侧各有一把刀，用来铣花键两侧面，其距离 m 根据被加工外花键槽宽 B 来确定。在铣刀盘的左右两侧还各

有一把刀，用来铣花键倒角，其距离 S 以能将花键上的 45° 倒角铣出为依据。刀头可用高速钢磨成，也可使用硬质合金刀具。加工时，要使铣刀盘上两把刀距 m 的中心对正工件上花键齿的中心。切削前，应找块废铁先进行试铣，待各部调整好、尺寸准确后再正式铣削。

图8-11 用铣刀盘铣外花键

8.1.5 外花键的检测与质量分析

1. 外花键的检测

外花键的检测步骤如下：

- (1) 检测外花键的键宽 B 和小径尺寸 d 时，用千分尺或游标卡尺。
- (2) 检测外花键侧面对工件轴线的平行度和对称度误差时，用百分表。
- (3) 同时检测花键的大径、小径、键宽、大径对小径的同轴度、花键的对称度与等分度等综合项目，用外花键综合量规(通称为环规)，从而保证花键连接的配合要求和安装要求，如图 8-12 所示。外花键综合量规只有通端，还需要与单面端量规(卡规)配合完成对小径、大径、键宽的最小极限尺寸的检测。检测时，外花键综合量规通过，单面止端量规不通过，则花键合格。

8.2 铣牙嵌式离合器

按齿形不同，牙嵌式离合器可分为矩形齿、梯形齿、尖齿、锯齿形齿和螺旋形齿等，如图 8-13 所示。其梯形齿离合器按轴向截面中齿高的变化可分为梯形等高齿离合器和梯形收缩齿离合器两种。

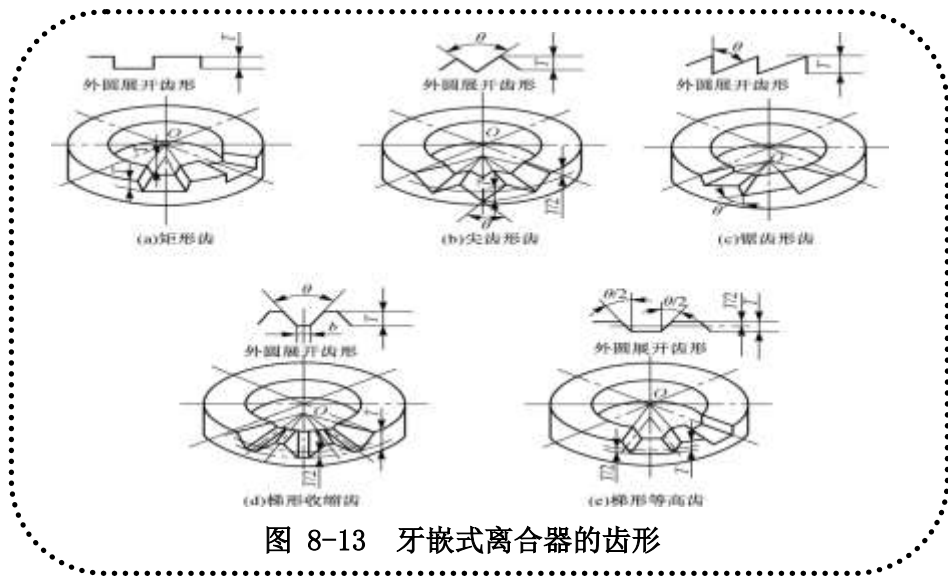


图 8-13 牙嵌式离合器的齿形

8.2.1 牙嵌式离合器的技术要求

牙嵌式离合器是依靠端面上的齿牙相互嵌入或脱开达到传递或切断运动的，一般都成对使用，因此主要技术要求如下。

1. 齿形

为了保证齿牙在径向贴合，牙嵌式离合器的齿形中心线必须通过本身轴线或向轴线上的一点收缩，从轴向看其端面齿和齿槽呈辐射形；保证齿侧贴合良好，所有齿牙的齿形角和齿槽深度必须一致。

2. 同轴度

为了确保贴合面积，必须使齿牙的轴心线与装配基准孔同轴

3. 等分度

等分度包括对应齿侧的等分性和齿形所占圆心角的一致性。

4. 表面粗糙度

牙嵌式离合器的两齿侧面为工作表面，其表面粗糙度值 R_a 一般为 $3.2 \sim 1.6 \mu m$ ，在齿槽底面不允许有明显的接刀痕。

5. 强度和耐磨性

牙嵌式离合器是利用零件上两个相互啮合的齿爪传递运动和扭矩的，因此，齿部强度一定要高，以承受较大的扭矩。两端面上的齿牙相互嵌入，频繁完成脱离或接合的动作，因此，要求齿面的耐磨性也一定要好。

8.2.2 矩形齿离合器的铣削

1. 奇数离合器的铣削

1) 刀具的选择

为了不在铣削中切到相邻的齿，三面刃铣刀的宽度 B （或立铣刀直径 d ）应等于或小于齿槽的最小宽度，如图 8-14 所示。由图 8-14 可知

$$B \text{ (或 } d) \leq b = \frac{d_1}{2} \sin \beta = \frac{d_1}{2} \sin \frac{180^\circ}{z}$$

(8-3)

式中， B 为三面刃铣刀宽度（mm）； d_1 为离合器的孔径（mm）； β 为齿槽角（°）； z 为离合器齿数。按式（8-3）计算出来的 B 值可能不是整数或不符合铣刀的尺寸规格，应就近选择略小于计算值的标准规格铣刀。

2) 工件的装夹

在加工前应先安装和调整分度头。在卧式铣床上加工，分度头主轴应垂直放置；而在立式铣床上加工，分度头主轴应水平放置。然后将工件装夹在分度头的三爪自定心卡盘上，并校正工件的径向圆跳动和端面圆跳动至符合要求，使其不超过允许误差范围。

3) 调整切削位置

铣削时，三面刃铣刀的侧面刀刃或立铣刀的圆周刀刃应通过工件中心。调整的方法是使旋转的三面刃的侧面刀刃或立铣刀的圆周刀刃与工件的外圆柱表面刚刚接触上，然后下降工作台退出工件，再使工件向着铣刀横向移动工件半径的距离，切削位置调整（或对刀）结束。铣刀对中后，按齿槽深调整工作台的垂直距离，并将工作台横向进给和升降台垂直进给紧固，同时将对刀时工件上被切伤的部分转到齿槽位置，以便铣

削时切去。

4) 铣削方法

如图 8-15 所示为用三面刃铣刀铣削 5 齿离合器的情况，I 号齿槽的侧面 1 与 IV 号齿侧面 1' 在同一个通过中心的平面 1-1' 上；II 号齿槽的侧面 2 与 V 号齿槽的侧面 2' 在同一个通过的中心的平面 2-2' 上；以此类推，直至 V 号齿槽的侧面 5 与 III 号齿槽的侧面 5' 在同一个通过中心的平面 5-5' 为止。铣削时，进给沿直线 1-1'、2-2'、3-3'、4-4' 和 5-5' 穿过离合器的整个端面。每次进给能同时铣出两个齿的不同侧面，只要五次铣削行程即可将各齿槽的左、右侧面铣好。奇数矩形离合器均按此规律进行铣削。

5) 获得齿侧间隙的方法

为了使离合器工作能顺利地嵌合和脱开，矩形齿离合器的比侧左右一定的间隙。获得齿侧间隙的方法有以下两种：（1）偏

对刀完成后，让三面刃铣刀的侧面刀刃或立铣刀的圆周刀刃方向偏过工件中心 0.2~0.3 mm，如图 8-16 (a) 所示。依槽，这样铣后的离合器齿略为减小，嵌合时就会产生间隙。

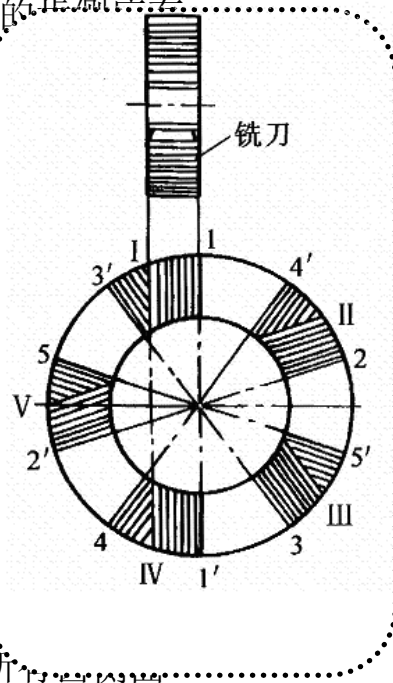
齿侧面不通过工件轴线，离合器工件齿侧面贴合差，接触面响离合器的承载能力，因此，这种方法只用于精度要求不高器的加工。（2）偏转角度法。铣刀对中后，依次将全部

然后使离合器转过一个角度 $\Delta\theta$ ，如图 8-16 (b) 所示。 Δ ，再铣一次，将所有齿的左侧和右侧切去一部分。此时，所

都通过轴心线的径向平面，齿侧面贴合较好。但偏转角度法增加了铣削次数，因此，它适用于要求较高的离合器。

2. 偶数矩形离合器的铣削

偶数离合器铣削的工件装夹、对刀方法和奇数离合器相同。但偶数离合器铣削时，



三面刃铣刀或立铣刀不能穿过离合器整个端面，即每次进给只能加工一个齿侧面，进给次数是离合器齿数的两倍，避免切伤对面的齿。为保证加工出的齿侧平面的完整和槽底是平面，进给时，铣刀柄轴线应超过离合器齿圈的内圆。

1) 刀具的选择

图8-15 齿离合器的铣削

用三面刃铣刀宽度 B 的选择与奇数离合器相同。但铣偶数离合器时，为了铣刀不切伤对面的齿，三面刃铣直径 D (mm) 必须满足下式

$$D \leq \frac{d_1^2 + T^2 - 4B^2}{T}$$

(8-4)

式中， d_1 为离合器齿部内径 (mm)； T 为离合器的齿深 (mm)； B 为三面刃铣刀宽度 (mm)。

如果上述条件无法满足，应改用立铣刀在立式铣床上加工，立铣刀直径按三面刃铣刀宽度的选择方法选择。

2) 铣削方法

偶数矩形离合器的铣削，要经过两次调整切削位置才能铣出准确的齿形，如图 8-17 所示为齿数 $z=4$ 的矩形齿离合器的铣削顺序。第一次调整使三面刃铣刀侧面刀刃 I 对准工件中心，通过分度依次铣出各齿的同侧齿侧面 1、2、3 和 4，如图 8-17 (a) 所示。第二次调整将工作台横向移动一个工件上已铣出槽的槽宽距离，使铣刀侧刃 II 对准工件轴心线，同时将工件转过一个齿槽角 β ，通过分度依次铣出各齿左侧面 5、6、7 和 8，

如图 8-17 (b) 所示。为了保证一定的齿侧间隙，在第二次调整切削位置时，可将工件转过的角度增大 $2\phi \sim 4\phi$ 。

8.2.3 尖齿形离合器的铣削

尖齿形离合器的特点是整个齿形向轴线上一点收缩，见图 8-13 (b)。齿槽宽度由外圆向轴心逐渐变窄，所以在铣削时，分度头主轴必须仰起一个 α 角，使槽底处于水平位置。如图 8-18 所示，尖齿的两侧面对称于轴中心平面(指与齿形角平分线重合的那个轴心平面)。沿圆周展开的齿形角 θ 常用的有 60° 和 90° 两种。

1. 刀具的选择

铣削尖齿形离合器一般都选用对称双角铣刀，其齿形角在满足切深要求的前提下，铣刀直径尽量选小一些。

2. 对刀

尖齿形离合器的齿形收缩点是否落在轴线上，是齿形能否良好贴合的极为重要的因素。所以，铣削时双角铣刀的刀尖必须通过工件轴线。采用试切法，先将刀尖大致通过试件轴线，在试件端面铣一条细线。将工件转过 180° 后再铣一条细线，测量两细线间距离，然后向两线中间横向偏移所测距离的一半，再重新试切，直至两条细线重合，对刀完成。

3. 铣削方法

无论是铣奇数尖齿形离合器还是偶数尖齿形离合器，分度头每分度一次只能铣出一条齿槽。一般采用试切法调整切深，调整切深应在外径处按大端面齿槽深进行，使大端齿顶留有 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 宽的平面，以保证嵌合时齿形的工作面相接触，避免齿顶与槽底接触。

4. 分度头主轴仰角的计算

铣削尖齿形离合器时，分度头主轴仰角 α 的计算公式为

(8-5)

式中， α 为分度头的仰角 ($^{\circ}$)； z 为离合器的齿数； θ 为双角铣刀的齿形角 ($^{\circ}$)

由仰角计算公式中可以得知，当离合器的齿数确定以后，分度头主轴的仰角取决于齿形角。如果实际齿形角与计算分度头主轴仰角时用的齿形角有偏差则应实测双角铣刀的齿形角，然后代入式 (8-5) 计算分度头主轴仰角。例 8-1 铣削齿数 $z=80$ ，廓形角 $\theta=60^{\circ}$ 的尖齿形离合器，试确定分度头主轴的仰角。

解 选用对称双角铣刀的齿形角 $\theta=60^{\circ}$ ，代入式 (8-5) 可得

则 $\alpha = 88^{\circ} 3'$

所以，分度头主轴仰角 $\alpha = 88^{\circ} 3'$ 。

8.2.4 锯齿形离合器的铣削

锯齿形离合器与尖齿形离合器都具有收缩齿的齿形特征，见图 8-13(c)。锯齿形相当于半只等腰三角形齿，其齿形角 θ 有 60° 、 70° 、 80° 和 85° 等几种。铣削方法和步骤与尖齿形离合器基本相同，只是使用的铣刀和分度头主轴仰角 α 的计算略有不同。

1. 刀具的选择

铣削锯齿形离合器一般采用单角铣刀，其齿形角与离合器的齿形角相等。

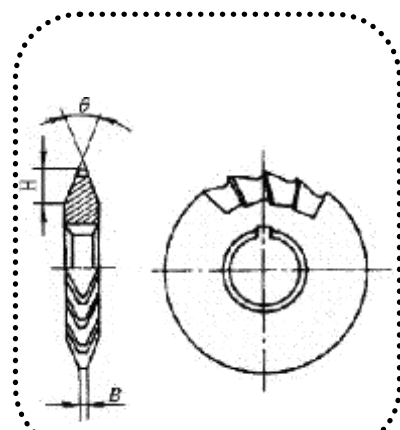
2. 对刀

对刀时应使单角铣刀的端面刃准确地通过工件轴心线。可采用试切法和侧面对刀法进行对刀，如图 8-19 所示。

3. 分度头主轴仰角的计算

分度头主轴仰角 α 的计算公式为

$$\cos \alpha = \tan \frac{180^{\circ}}{z} \cot \theta$$



(8-6)

式中， z 为离合器的齿数； θ 为单角铣刀的齿形角 ($^\circ$)。

8.2.5 梯形齿离合器的铣削

梯形齿离合器可分为梯形收缩齿离合器和梯形等高齿离合器两种，见图 8-13(d)、(e)，其铣削

方法是完全不同的。

1. 梯形收缩齿离合器的铣削

梯形收缩齿离合器的齿形，实质上是将尖齿形离合器的齿顶和槽底分别用平行于齿顶

线和槽底线的平面截去一部分，截后的齿顶及槽底在齿长方向上是等宽的，并且它们的中心通

过轴心线。因此，其铣削方法和步骤及分度头主轴仰角计算与尖齿形离合器相同，只是铣刀的

选用和对刀不同。

1) 刀具的选择

梯形收缩齿离合器采用梯形槽成形铣刀加工。梯形槽成形铣刀的齿形角 θ 等于离合器的廓形角 ε ，铣刀的齿顶宽度 B 等于离合器的槽底宽度 b ，铣刀齿形的有效工作高度 H 大于离合器外圆处齿槽深度 T ，其外形如图 8-20 所示。

2) 对刀

当加工齿数较多的梯形收缩齿离合器时，可采用试切法对刀，以保证梯形槽成形铣刀廓形的对称线对准工件轴线。当加工齿数较少而齿距较大的梯形收缩齿离合器时，试切法对刀较困难，这时应采用如图 8-21 所示的方法对刀。使分度头主轴处于垂直位置，目测使铣刀廓形对称线大致对准工件中心线，并按齿高的 $1/2$ 左右在工件径向

试切一刀，同时记下升降台手轮刻度盘读数。然后降下升降台退出工件，将工件转过 180° ，再慢慢升高升降台，同时观察铣刀两侧刀刃与齿槽两侧的接触情况。如铣刀只有一侧和齿槽接触，则说明对刀不准。此时，可根据升降台手轮刻度盘读数的差值，确定铣刀齿顶离槽底的距离 x ，再按式（8-7）计算出工件（或工作台）偏离铣刀廓形对称线的距离 e ，并按值调整 e 对中。计算公式如下

（8-7）

式中， e 为工件横向偏移量（mm）； x 为升降台两次读数差值（mm）； θ 为铣刀齿形角（ $^\circ$ ）

3) 铣削要点

铣削各种梯形收缩齿离合器时，由于分度头主轴是倾斜的，因此无论齿廓形状对称与否，无论齿数为奇数还是偶数，每次都只能铣削加工一个齿。

2. 梯形等高齿离合器的铣削

梯形等高齿离合器的齿形特点是齿顶面与槽底面平行，并垂直于离合器轴线。其齿侧高度不变，而齿侧的中心线必须汇交于离合器的轴线。

1) 刀具的选择

当生产批量较大时，铣削梯形等高齿离合器可采用专用成形铣刀，也可将三面刃铣刀改磨而成。其刀具应满足铣刀的齿形角 θ 等于离合器的廓形角 ε ；铣刀的齿形角有效工作高度 H 应大于离合器齿高 T ；铣刀齿顶宽度 B 应小于齿槽的最小宽度，以免在铣削时碰伤齿槽的另一侧。

2) 对刀

铣削梯形等高齿离合器可采用铣削梯形收缩齿离合器的方法完成对刀。但最后工作台移动的距离 e 值的计算方法不同，其计算公式为

(8-8)

式中, B 为铣刀齿顶宽度 (mm); T 为离合器齿高 (mm); θ 为铣刀齿形角 ($^{\circ}$)。

3) 铣削方法

梯形等高齿离合器一般设计成奇数齿, 所以铣削方法和奇数矩形齿离合器一样。如图 8-22 所示, 如铣削齿槽角 β 大于齿面角 α 时, 可不必重新制造成形铣刀, 在铣好的齿槽上, 将工件左右分别偏转 $\beta - \alpha / 2$ 角度, 使各齿槽的左右侧再铣一次。齿侧面有嵌合间隙要求时, 在各齿槽铣削完毕后, 可参照铣矩形齿离合器齿侧间隙的方法, 将工件偏转 $2\alpha \sim 4\alpha$ 后, 铣出齿侧间隙。

8.2.6 牙嵌式离合器的检测和铣削质量分析

1. 牙嵌式离合器的检测

1) 牙嵌式离合器的检测内容

牙嵌式离合器的检测内容包括齿形、同轴度、等分度和表面粗糙度。其中, 齿形包括齿形角、底倾角、齿槽底面、齿槽深及接触齿数, 同轴度是指齿形汇交轴与离合器装配基准孔轴线的偏移, 等分度包括对齿侧的等分和对齿面或齿槽所占圆心角的等分, 表面粗糙度是指齿侧面和槽底面的表面粗糙度。

2) 牙嵌式离合器的检测方法

牙嵌式离合器的检测方法如下:

- (1) 检测齿形角。
- (2) 检测齿槽深。
- (3) 检测齿槽底面对离合器轴线的垂直度。
- (4) 检测离合器接触齿数和贴合面积。
- (5) 检测齿形同轴度。

(6) 检测等分度。

(7) 表面粗糙度。

课题九 铣削螺旋槽

一、铣削相关知识

1. 圆柱螺旋槽

圆柱螺旋槽的工作表面，就是在圆柱上若干螺旋线的组合。圆柱上任一点，随着圆柱做等速旋转的同时，该点又沿圆柱的轴线方向做等速直线移动，形成螺旋运动，则该点的运动轨迹就是圆柱螺旋线。螺旋线的主要要素如图 8-15、图 8-16 所示。

2. 交换齿轮

在铣床上铣削圆柱螺旋槽需要的匀速螺旋进给运动，是通过交换齿轮，将工作台直线进给运动与分度头的圆周进给运动连接起来实现的。

由于交换齿轮能使分度头按一定的速比带动工件做匀速的螺旋运动，而切入工件的铣刀刀刃上各点，就相当于工件圆柱上的动点，这样通过几种运动合成的实现，在工件的圆柱面上就可以形成一条截形与铣刀廓形相似的螺旋槽。通过分度头的圆周分度，还可以加工多线的螺旋槽。因此，最重要的是如何正确地安装交换齿轮。

3 在铣床上铣螺旋槽，必须将铣床工作台的纵向丝杠通过交换齿轮与分度头的侧轴连接起来，以保证分度头主轴每旋转一周，工作台带动工件沿纵向恰好移动一个导程。交换齿轮的计算公式为：

二、圆柱螺旋槽的铣削

1. 铣刀的选择

因圆柱螺旋槽截面形状的加工要求，加工螺旋槽所用铣刀的廓形一般与螺旋槽的法向截面形状相符。常用的铣刀主要是立铣刀和三面刃铣刀。由于同一圆柱螺旋槽在不同直径处的螺旋角不相等，造成加工中存在着干涉现象，引起螺旋槽侧面被过切而出现畸形。为减轻槽面的干涉程度，在加工法向截面形状为矩形的螺旋槽时只能用较小直

径的立铣刀进行精加工铣削;盘形铣刀只能用于粗加工。在加工其他截面形状的螺旋槽时,应尽可能选择直径较小的盘形铣刀。

2. 铣削位置的调整

铣刀采用画线与试切相结合的对中心的方法,即在调整工作台横向位置时,目测使铣刀切痕在画出的两条对称于中心的平行直线间居中即可,使工件的轴线与铣刀的廓形中心线重合,然后紧固工作台横向进给才能对工件进行铣削。

若采用盘形铣刀在卧式铣床上铣削螺旋槽,盘形铣刀的对称平面应与工件轴线倾斜一个螺旋角 β 而同螺旋槽的切向一致,故需要对工作台在水平面方向进行偏转。工作台偏转方向由螺旋槽的旋向决定,即操作者站立在铣床正面前,松开回转台紧固螺母。铣右旋螺旋槽时,逆时针方向(向右)偏转工作台;铣左旋螺旋槽时,顺时针方向(向左)偏转工作台,如图8-18所示。工作台的偏转通常在铣刀对中以后进行,分度头应放在工作台中间的那道T型槽上。而采用立铣刀则不需做任何调整。

3. 铣削矩形截面螺旋槽时的干涉现象

在铣床上铣削螺旋槽时,当工件回转一周时,铣刀相对于工件在轴线方向移动的距离等于导程。在一条螺旋槽上,不论是槽口还是槽底的螺旋线,其导程是相等的。由螺旋角 β 的计算公式 $\tan \beta = \pi D/Ph$ 可知,在导程 Ph 不变时,直径 D 越大,螺旋角 β 越大; D 减小则 β 也减小。因此,在一条螺旋槽上,自槽口到槽底,不同直径处的螺旋角是不相等的。由于螺旋角大小不同,在同一截面上切线的方向也不同,在切削过程中会出现不应切去的部分被切去,使槽的截面形状发生偏差的干涉现象。

课题九 铣削螺旋槽

三、铣削过程

1. 加工准备

看清图样,了解加工要求。计算工件螺旋槽导程和交换齿轮

(1) 计算工件螺旋槽导程:

$L = \pi d \cot \beta$ 式中 L —螺旋线导程

d —工件直径

β —螺旋角

(2) 计算安装交换齿轮 $z_1 z_3 / z_2 z_4 = 40s/L$ $z_1 z_3$ —主动轮齿数

$z_2 z_4$ —从动轮齿数 40 是分度头定数 s 是铣床纵向工作台丝杠螺距 (mm)

课题九 铣削螺旋槽

铣螺旋线安装交换齿轮如图所示。主动轮 z_1 安装在铣床纵向工作台丝杠一端从动轮 z_4 安装在万能分度头侧轴上 z_2 和 z_3 装在挂轮架的同一根轴上。中间轮只是改变主动轮或从动轮的旋转方向而不改变传动比。

挂轮确定后，安装时注意以下几点：

- ①. 主、被动挂轮位置不得颠倒。
- ②. 挂轮之间保持一定的间隙，切勿过紧或过松。
- ③. 用增减中间轮的方法，调整好工件的左右旋向。
- ④. 检查挂轮的计算和搭配是否正确。

2. 工件的安装与调整

3. 对刀

4. 铣螺旋槽

5. 检验

四 注意事项

1. 铣削螺旋槽时，分度手柄定位销要插入孔盘内，使工件随着纵向工作台的进给而连续转动。此时分度头主轴锁紧手柄和分度盘紧固螺钉要松开。

2. 铣削多头螺旋槽时，由于机床和分度头的传动系统内部有一定的传动间隙，所以在每铣好一条螺旋槽后，应使工作台下落一段距离后再退刀，以免铣刀擦伤已加工好的工件表面，然后再分度铣下一条槽。

-
3. 当工件的导程小于 80mm 时，由于挂轮速比大，最好使用手动进给。
 4. 分度头的定位键应安装在铣床工作台的 T 型槽内，这样刀具对好中心后，再转动工作台的角度，中心不会改变。
 5. 铣削中应防止工件松动。

课题十 铣削齿轮和齿条

第一节 铣削直齿圆柱齿轮

一、齿轮齿形的加工方法

齿轮齿形的加工方法很多，一般可分为两大类：一类是展成法；另一类是成形法。展成法是根据齿轮啮合原理，在专用机床上利用刀具和工件具有严格速比的相对运动来切制齿形，这种加工方法，精度高，效率高。因此，目前齿轮加工主要采用展成法，在滚齿机上滚齿就是展成法加工(图 9-1)。成形法是在万能铣床上利用刀刃形状和工件齿槽形状相同的刀具来切制齿形。用此法加工齿轮，其效率和精度比展成法差，一般用于要求不高的单件修配齿轮加工(图 9-2)

第一节 铣削直齿圆柱齿轮

二、直齿圆柱齿轮各部分名称和计算

1. 齿形曲线

齿轮齿形曲线渐开线的形成如图 9-3 所示，在圆盘的圆周上围绕一根棉线，并在棉线头 a 上拴一支铅笔，然后拉紧线头 a，逐渐展开，铅笔尖在纸上画出的曲线就叫做渐开线。齿轮的齿形就是这条渐开线上的一段(图 9-4)，而那个圆盘叫做基圆。棉线在展开过程中，总是和基圆相切的。任意选择一个位置 b(图 9-3)，这时棉线和基圆相切在 c 点，所以 bc 垂直于基圆半径 Oc，bc 亦称作渐开线的发生线。

第一节 铣削直齿圆柱齿轮

2. 齿轮各部分名称

直齿圆柱齿轮各部分名称如图 9-5 所示，各部分名称的含义如下：

(1)分度圆在一个标准齿轮中,槽宽和齿厚相等的那个圆(不考虑齿侧间隙),称为分度圆,分度圆直径用 d 表示

(2)齿顶圆通过齿轮顶部的圆叫做齿顶圆,齿顶圆直径用 d_a 表示

(3)齿根圆通过齿轮根部的圆叫做齿根圆,齿根圆直径用 d_f 表示。

(4)齿距相邻两个齿的对应点在分度圆圆周上的弧长,用 b 表示。

(5)齿宽齿轮轮齿部分的轴向长度,用 b 表示。

(6)齿厚一个轮齿在分度圆上所占的弧长,用 s 表示。

(7)槽宽一个齿槽在分度圆周上所占的弧长,用 e 表示。

(8)齿顶高从齿顶圆到分度圆的径向距离叫齿顶高,用 h_a 表示。

(9)齿根高从齿根圆到分度圆的径向距离叫齿根高,用 h_f 表示。

(10)全齿高齿的全深,为齿顶高与齿根高之和,用 h 表示。

(11)顶隙当两个齿轮完全啮合的时候,一个齿轮的齿顶与另一个齿轮的齿根间的间隙叫做顶隙,用 c 表示

(12)中心距 互相啮合的两个齿轮轴线之间的距离,用 a 表示

(13)压力角 渐开线齿形上任意一点的受力方向线(图 9 -6)与运动方向线之间的夹角叫做该点的压力角。

(14)模数 根据齿距的定义知道 $p = \pi d/z$ 型,虽然齿距可以代表轮齿的大小,但它是一个无理数,使用很不方便,因此规定用模数来表示轮齿的大小,模数值等于分度圆直径除以齿数。它可以抽象地认为一个轮齿在分度圆直径上所对应的长度。模数越大,齿形尺寸也越大;反之则越小,如图 9 -7 所示。

3. 齿轮各部分尺寸的计算

若渐开线直齿轮的模数 m 和压力角 α 符合标准数值,并且分度圆上齿厚等于槽宽,齿顶高等于一个模数 m ,全齿高等于 $2.25m$,则这样的齿轮就称为标准渐开线直齿轮。

在模数 m 、压力角 α 及齿数 z 确定的情况下，标准渐开线直齿轮的各部位尺寸的计算公式见表 9-2。

三、齿轮铣刀

齿轮铣刀刃口形状必须是渐开线，渐开线的形状又与基圆直径的大小有关，根据几何关系可知

四、直齿圆柱齿轮的测量

1. 弦齿厚的计算和测量

用齿轮卡尺测量弦齿厚有两种方法：一种是分度圆弦齿厚测量法；另一种是固定圆弦齿厚测量法

分度圆弦齿厚测量法分度圆弦齿厚应当在分度圆圆周上测量，即卡尺足尖应当落在分度圆上(图 9-8)

第一节 铣削直齿圆柱齿轮

2. 固定弦齿厚测量法

所谓固定弦齿厚，就是指齿轮的一个齿和基本齿条的两个齿对称接触时，分布于该齿轮轮齿两侧齿面上的那两条接触线之间的最短距离。如图 9-9 所示，它的长度只与齿轮的模数和齿形角有关，而与齿数的多少无关。固定弦齿厚和固定弦齿高的计算公式分别为

第一节 铣削直齿圆柱齿轮

3. 公法线长度的测量

公法线长度就是两个互相平行的平面与齿轮两个或两个以上轮齿齿面(相对的两齿面)相切时两平面之间的垂直距离，也就是卡尺两卡脚之间的距离 W_k (图 9-10)，通过公法线测量便可知道齿厚的尺寸是否正确。这种测量方法具有测量方便、简单、精确度较高、测量值的大小不受齿轮外径影响等优点，而且能用普通游标卡尺测量。

五、铣削直齿圆柱齿轮

1. 铣削准备工作

(1) 安装分度头

(2) 检查齿坯铣削后的齿轮质量与原齿坯质量有密切的关系。(3) 装夹和找正工件将工件装夹在专用心轴上。

(4) 分度计算根据下式计算分度手柄转数 n ，
$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{38} = 1 \frac{3}{57} r$$

5) 选择和安装铣刀（按模数和齿数在下表中选择铣刀）

所 铣	12	14	17	21	26	35	55 ~	135
齿 数	~	~	~	~	~	~	134	~∞
	13	16	20	25	34	54		
铣 刀	1					6	7	8
号 数		2	3	4	5			

2. 铣削步骤

(1) 对刀（切痕法 划线法）

(2) 验证

(3) 调整铣削层深度

(4) 铣削

3. 铣齿时产生废品的原因和注意事项

铣削直齿轮时，由于操作不熟练或其他原因，经常出现的废品种类、产生原因和注意事项见表 9-7。

一、斜齿圆柱齿轮有关尺寸的计算

1. 基本参数

斜齿圆柱齿轮的基本参数有：齿数 z 、法向模数 m_n 、法向齿形角 α_n ，齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 和螺旋角 β 等

斜齿圆柱齿轮是以法向截面中的模数和齿形角为标准模数和标准齿形角。但斜齿圆柱齿轮只在垂直于齿轮轴线的平面（端平面）内具有渐开线齿形，所以有关齿形尺寸应在端平面内进行计算。计算时，应将法平面中的法向模数（标准模数） m_n 换算成端平

面内的端面模数(非标准模数) m_1 。换算关系为: $m_1 = \frac{m_n}{\cos\beta}$

2. 有关计算

标准斜齿圆柱齿轮几何要素的名称、代号、定义和计算公式见表 9-8

二、当量齿数与齿轮铣刀的选择

1. 当量齿数 z_v

斜齿圆柱齿轮齿线上某一点 P 处的法平面与分度圆柱面的交线是一个椭圆(图 9-16), 以此椭圆的最大曲率半径作为某一假想直齿圆柱齿轮的分度圆半径, 并以斜齿圆柱齿轮的法向模数和法向齿形角作为此假想直齿圆柱齿轮的模数和齿形角, 则此假想直齿圆柱齿轮的齿数称为斜齿圆柱齿轮的当量齿数 z_v 。 z_v 的计算公式如下

$$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta}$$

第二节 铣削斜齿圆柱齿轮

式中 Z —斜齿轮的实际齿数 Z_v —斜齿轮的当量齿数 β —斜齿轮的螺旋角。

为了简化当量齿数的计算可按下表依据螺旋角 β 查出 K ($k=1/\cos^3\beta$), 再乘以实际齿数。

2. 铣刀的选择

在卧式万能铣床上铣削斜齿圆柱齿轮时, 与铣削圆柱螺旋槽一样需将工作台水平扳转一个角度 β , 使螺旋齿槽方向与铣刀回转平面一致, 也就是斜齿圆柱齿轮在法向截面里的齿形与铣刀齿形一致。而法向截面内的齿形与分度圆直径为 d_v 模数为 m_n , 齿形角为 a_n , 齿数为当量齿数 z_v 的假想直齿圆柱齿轮的齿形近似, 因此, 用按当量齿数 z_v 选择刀号的标准盘形齿轮铣刀铣削斜齿圆柱齿轮, 虽然有齿形误差, 但误差较小, 对于精度要求不高的斜齿圆柱齿轮铣削是允许的。可根据模数和当量齿数参照下表选刀。

所铣齿数	12~13	14~16	17~20	21~25	26~34	35~54	55~134
	135~∞						

铣刀号数 1 2 3 4 5 6 7

8

第二节 铣削斜齿圆柱齿轮

三、斜齿圆柱齿轮的测量

齿厚测量的方法与直齿圆柱齿轮的测量方法相同，但必须沿着螺旋线垂直方向(即在法平面内)测量。计算时应按法向模数 m_n 和当量齿数 z_v 进行。

1. 分度圆弦齿厚的测量

分度圆弦齿厚 \bar{s}_n 的测量。分度圆弦齿厚 \bar{s}_n 和分度圆弦齿高 \bar{s}_{an} 的计算公式为：

2. 固定弦齿厚的测量

固定弦齿厚 \bar{s}_n 和固定弦齿高 \bar{h}_{an} 的计算公式为：

$$\bar{s}_n = m_n z_v \sin \frac{90^\circ}{z_v}$$
$$\bar{h}_{an} = m_n \left[1 + \frac{z_v}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z_v} \right) \right]$$

3. 公法线长度的测量

斜齿圆柱齿轮的公法线长度应在法平面内测量

用查表算法计算公法线长度 $W_k n$

第二节 铣削斜齿圆柱齿轮

导程和配换齿轮的计算

导程按下式计算： $P_z = \pi M_n Z / \sin \beta$

式中 M_n —发面模数

Z —齿轮实际齿数

β —螺旋角

配换齿轮的计算与加工螺旋槽的计算方法相同。也可以根据导程查资料找出配换齿轮。

（比如《铣工操作技术与窍门》何建民编著的 266 页）

五、铣削斜齿圆柱齿轮的方法

铣削斜齿圆柱齿轮时，铣刀选择及铣削前的准备工作与铣削直齿圆柱齿轮基本相同。不同的 是：

1. 需要加装配换齿轮，检查挂轮后，检查导程和分度头转向是否正确。
2. 工作台要转动一个螺旋角。（先对中心再扳转，分度头应装在工作台中间的 T 型槽内。）
3. 每铣一齿后，要先下降工作台后再退刀。（退刀时不得使用快速）
4. 铣削速度应低于加工直齿轮的速度。
5. 试铣。
6. 正式铣削。

第二节 铣削斜齿圆柱齿轮

铣削斜齿圆柱齿轮的质量分析

1. 铣削斜齿圆柱齿轮时，同样易出现铣直齿圆柱齿轮时易产生的质量问题，应注意避免产生。
2. 导程不准确是由于导程和挂轮比计算有误或挂轮配置有误造成的。
3. 铣削中干涉量过大是由于工作台扳转角度不准确引起的。

第三节 铣削齿条

一、齿条的基本参数和几何尺寸计算

1. 齿条的基本参数

齿条的主要参数有:齿数 z 、模数 m (或法向模数 m_n), 齿形角 α (或法向齿形角 α_n) 和螺旋角 β (斜齿条), 以及齿顶高系数 h_0^* 、顶隙系数 c^* 等。

2. 齿条几何尺寸的计算

齿条几何要素的名称、代号和计算公式见表 9 -13

第三节 铣削齿条

二、铣削齿条时的铣刀选择

通常当齿条的模数较小时均在卧式铣床上用盘形齿轮铣刀铣削。此时应选用同模数中的最大号的铣刀, 也就是说应选用该模数的 8 号盘形齿轮铣刀铣削齿条。齿条精度要求较高时, 可采用专用的齿条铣刀进行铣削。

对于精度不高、模数较大的齿条, 可在立式铣床上采用指形铣刀进行铣削。指形铣刀没有标准铣刀, 故可将废旧的立铣刀、键槽铣刀或钻头等进行改磨, 使其符合齿形要求即可。

三、铣刀与工件的安装

1. 铣刀的安装

在卧式铣床上铣短齿条时, 铣刀的安装方法与铣削齿轮时完全相同。若需要铣削长齿条时, 则须纵向安装工件, 采用横向进给法铣削, 此时要将铣刀的回转轴线转换成与进给方向(横向)垂直, 需加装专用辅具, 使铣刀轴线与工作台纵向进给方向平行。具体方法有两种:

(1) 用万能铣头改变铣刀轴线方向较简单的方法是将万能立铣头转过一个角度, 使铣头主轴轴线平行于工作台纵向进给方向。然后在万能立铣头上加装一个专用的铣头,

用来安装盘形齿轮铣刀。铣头的轴线同样平行于工作台纵向进给方向。这样，就可以铣削较长的齿条厂，如图 9-18 所示。

(2)用横向刀架改变铣刀轴线方向在铣床横梁上加装横向刀架机构铣削长齿条。通过一对螺旋角为 45° 斜齿轮机构，使铣刀轴转过 90° ，则铣刀轴线与工作台进给方向平行。

安装横向刀架时，先将一个斜齿轮安装在铣刀杆上，再将横向刀架和另一个斜齿轮装在铣床横梁上，使两斜齿轮啮合。然后安装挂架，并将横向刀架紧固。则铣床的主轴运动通过该装置使铣刀旋转。

第三节 铣削齿条

2. 工件的安装

铣削直齿条时的装夹，要求其齿线与进给方向平行。可分为横向装夹工件(工作台横向分齿移距)和纵向装夹工件(工作台纵向分齿移距)。装夹时只要将齿条侧面基准面与分齿移距方向校正平行，齿顶面与工作台台面平行即可。

斜齿条装夹后，主要要求保证其齿线与铣削时进给方向一致，而与分齿移距方向呈一螺旋角。具体方法分为倾斜工件法和偏转工作台面法。

(1)倾斜工件装夹斜齿条，如图 9 -20 所示。常用于铣削螺旋角较小的斜齿条。

(2)偏转工作台装夹斜齿条，如图 9 -21 所示。

四、铣削过程

1. 确定加工方法安装铣刀和工件
2. 确定移距方法
3. 铣削
4. 齿条的测量

课题十一 刻线

刻线是指在工件上刻角度线，圆周等分线或直线尺寸线。对于一般要求的刻线都可以在铣床上进行。

(一)刻线刀具

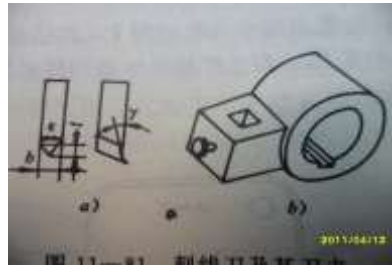
刻线刀具的结构比较简单，可用正方形截面的高速钢条磨制，也可以废立铣刀改制。其前角 $\gamma = 0^\circ \sim 10^\circ$ ，刀尖角 ϵ 可根据所要求的刻线宽度 b 和深度 t 计算：

$$\operatorname{tg}(\epsilon / 2) = b / 2t$$

式中 b = 刻线宽度，mm

t = 刻线深度，mm

如果对工件刻线的深度和宽度没提出具体要求是，刀尖可取 $\epsilon = 45^\circ \sim 60^\circ$ 在卧式铣床上刻线时可 将刻刀装在如图所示的刀夹内进行刻线。



(二)在圆柱面刻等分线

(1)计算分度头手柄转数 n ，如圆周要求可圆周等分线，可采用简单分度法， $n=40/Z$ 。

(2)刻线方法

- ①校准分度头，径向跳动量不大于 0.05mm。
- ②装刻刀，使刻刀垂直于工作台面。
- ③按划线对中心。
- ④调整刻线长度，在纵向进给刻度盘上记下长. 短刻线的位置标记。
- ⑤刻线，刻线时刀具不能转动，刻好一条线后，纵向退出工件，将分度头转过一个角度，接着刻第二条线。

图 9-2) 标准直齿轮各部位尺寸的计算公式

各部分名称	代 号	计 算 公 式
分度圆直径	d	$d = mz$
齿顶高	h_a	$h_a = m$
齿根高	h_f	$h_f = 1.25m$
全齿高	h	$h = 2.25m$
齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_a = m(z + 2)$
齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2d_f = m(z - 2.5)$
基圆直径	d_b	$d_b = mz \cos \alpha$
齿距	p	$p = \pi m$
齿厚	s	$s = 1.5708m$
槽宽	e	$e = 1.5708$ 优
顶隙	c	$c = 0.25m$
中心距	a	$a = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) = \frac{m}{2} (z_1 + z_2)$

(表 9-8 标准斜齿圆柱齿轮几何要素的名称、代号、定义和计算公式

名称	代号	定义	计算公式
法向模数	m_n	法向齿距除以圆周率 π 所得到的商	$m_n = d_n/\pi, m_n = m$ (标准模数)
端面模数	m_t	端面齿距除以圆周率 π 所得到的商	$m_t = d_t/\pi = m_n/\cos \beta$
法向齿形角	α_n	法平面内, 法向齿廓与分度圆交点处的齿形角	$\alpha_n = \alpha = 20^\circ$
端面齿形角	α_t	端平面内, 端面齿廓与分度圆交点处的齿形角	$\tan \alpha_t = \tan \alpha_n/\cos \beta$
分度圆直径	d	分度圆柱面和分度圆的直径	$d = m_t z = m_n z/\cos \beta$

名称	代号	定义	计算公式
法向齿距	d_n	在垂直于螺旋齿的截面上, 相邻两齿在分度圆上对应两点间的弧长	$d_n = \pi m_n$
端面齿距	d_t	在垂直于轴线的平面上, 相邻两齿在分度圆上对应两点间的弧长	$d_t = d_n/\cos \beta = \pi m_n/\cos \beta$
齿顶高	h_a	从齿顶圆到分度圆的径向距离	$h_a = m_n$
齿根高	h_f	从齿根圆到分度圆的径向距离	$h_f = 1.25m_n$
全齿高	h	齿的全深, 为齿顶高与齿根高之和	$h = h_a + h_f = 2.25m_n$
齿顶圆直径	d_a	与直齿圆柱齿轮同	$d_a = d + 2h_a = m_n(z/\cos \beta + 2)$
齿根圆直径	d_f		$d_f = d + 2h_f = m_n(z/\cos \beta - 2.5)$
(分度圆) 螺旋角	β	分度圆螺旋线的切线与过切点的圆柱面直素线之间所夹的锐角	设计给定
中心距	a	两相互啮合的斜齿轮节圆半径之和	$a = m_n(z_1 + z_2)/2\cos \beta$