

#### 案例4 铣削直齿圆柱齿轮的技巧。

齿轮加工的基本要求是保证齿形准确和分齿均匀。在铣床上加工齿轮属成型法加工，齿轮的齿形由铣刀的截形保证，分齿的均匀性由分度头和工件的装夹精度保证。这种加工方法仅适用于齿轮精度要求不高、单件生产或没有专用机床和刀具的情况下的齿轮加工。

图3-51所示为一直齿圆柱齿轮（标准正齿轮），材料为45钢，热处理调质至230HBW~268HBW，齿轮的模数 $m=3\text{mm}$ ，齿数 $z=32$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ ，外圆为 $\phi 102_{-0.10}^0\text{mm}$ ，跨测四齿测量公法线长度 $w=32.40_{-0.20}^{0.10}\text{mm}$ ，精度为9级，分度圆弦齿厚为 $4.71_{-0.05}^0\text{mm}$ ，齿面表面粗糙度为 $R_a3.2\mu\text{m}$ 。

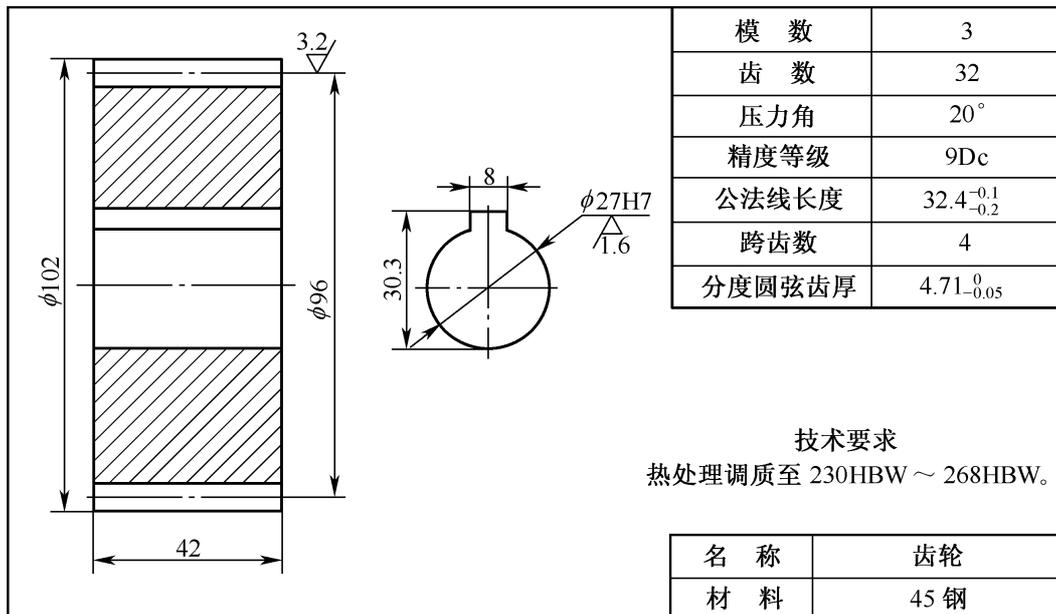


图3-51 直齿圆柱齿轮

(1) 零件加工工艺方案分析。

① 合理选择铣削方法。在铣床上加工齿轮属成型法加工，

齿轮的齿形由铣刀的截形保证，分齿的均匀性由分度头和工件的装夹精度保证。因此，要保证齿轮的加工精度，正确选用齿轮铣刀，保证装夹精度和分度精度是关键。

② 合理选用齿轮铣刀。由于齿轮齿形为渐开线齿形，所以应选截形为正确渐开线的齿轮盘铣刀。可按表 3-11，在 15 把一套的齿轮铣刀里，选择模数为 3mm 的  $5\frac{1}{2}$  号齿轮盘铣刀（所铣齿轮齿数为 30~34）。

③ 分齿分度计算。根据齿轮的齿数，计算分度手柄的转数  $n$ 。本例齿轮的齿数  $z=32$ ，

分度头手柄的转数为  $n = \frac{40}{32} = 1\frac{1}{4} = 1\frac{7}{28}$  (r)。

④ 确定铣削用量。齿轮铣刀系铲齿形高速钢成型铣刀，切削抗力大，铣削速度选用应较常规略低，进给量要适中。粗铣齿形  $v_c = 30\text{m/min} \sim 32\text{m/min}$ ，约  $2/3$  齿深（4.5mm~5mm）的背吃刀量；精铣齿形  $v_c = 40\text{m/min}$ ，第一次背吃刀量  $a_p = 1\text{mm} \sim 1.2\text{mm}$ 。

⑤ 铣削深度的确定。一种铣削深度的确定方法是：由齿轮全齿高公式  $h = 2.25m$ （ $m$  为模数），总的铣削深度控制在（2.2~2.25） $m$  范围内。为保证加工质量，对于模数大于 2.5mm 的齿轮，应分两次或几次进刀，即分粗、精铣；对于小模数的齿轮，可一次铣成，一般第一次铣削时留 0.5mm 的铣削深度余量，铣出几个齿槽后重新调整铣削层深度以保证尺寸公差要求。本例中  $m = 3\text{mm}$ ，按  $a_p = 2.2m$  计算，则总铣削深度为

$a_p = 2.2 \times 3\text{mm} = 6.6\text{mm}$ ，留  $0.6\text{mm}$  余量，则对刀后第一次铣削深度为  $6\text{mm}$ 。

⑥ 加工过程中要严格对刀。对刀的目的：一是为了对中，即保证铣刀齿形的对称平面通过齿坯轴线；二是为了调整铣削深度。因此，对刀是使铣刀齿形的中心对准工件的中心，是一项十分重要的工作。如果中心对不准，则铣出的齿形会使齿向一边偏斜（俗称“困牙”）影响齿轮的啮合和使用。对刀可采取如下方法。

- 按划线对中心。在工作台上装一划线盘，先使划针尖略低于工件中心，在工件上划出一条线，再将工件旋转  $180^\circ$ ，在工件上划出第二条线。然后将工件转动  $90^\circ$ ，使两条划线在工件的上方，移动工作台使铣刀处在两条平行线中间，即表示铣刀已对中心。此法较为简易，但需观察仔细，操作熟练。为进一步提高对中心准确度，可在工件上试切一道微小的线痕，观察线痕与两条线的相对位置。横向移动工作台，以找正对齐。

- 用分度头顶尖对中心。工件装夹前，移动工作台，使铣刀侧端面对正分度头顶尖。装好工件后再将工作台横向移动  $B/2$  的距离（ $B$  为铣刀两侧端面厚度），即视为铣刀齿形中心与工件中心对齐。此法应在分度头及尾座安装找正后进行。

- 用心轴对中心。工件装夹后，移动工作台，使铣刀侧端

面与心轴一端外圆侧面接触。

下降工作台，将工作台横向移动  $\frac{B}{2} + \frac{d}{2}$  的距离（ $d$  为心轴该段外圆直径），就表示铣刀齿形中心已在工作中心位置。

⑦ 加工路线：粗铣各齿齿形→精铣各齿齿形。

根据以上分析，拟定工艺方案如下。

① 机床的选择：选用 X6132 型万能卧式铣床。

② 刀具的选择：选用压力角为  $20^\circ$ ，模数为 3mm 的  $5\frac{1}{2}$  号齿轮盘铣刀。

③ 装夹方法：工件用心轴安装，再将心轴装夹在尾座顶尖和分度头主轴顶尖间，用鸡心夹头和拨盘带动旋转。装夹后需经找正，并调整分度叉和定位插销位置。

④ 铣削方法：将铣刀齿形对正工件中心，对刀后试切，分度铣出全部齿数的刀痕，检查合格后，调整背吃刀量分两次进给，逐齿铣出全部的齿槽。

⑤ 检测方法：用齿厚卡尺检测齿轮的弦齿顶高和分度圆弦齿厚，用公法线千分尺或游标卡尺检测齿轮的公法线长度。

（2）加工步骤。

① 操作前检查准备。检查和调整铣床，清理工作台；检查工件尺寸、清除毛刺；安装分度头和尾座，安装前需进行清理。

② 装夹工件。将工件安装在心轴上，心轴装夹于分度头主轴顶尖与尾座顶尖之间，分度头一侧装鸡心夹头与拨盘以带动

工件转动。装夹前，需调整两顶尖的等高度，使其在同一轴线上装夹后，应找正工件外圆的径向圆跳动，误差不大于 0.02mm。调整尾座顶尖顶紧力，使工件转动灵活。

③ 调整分度头分度叉。分度头手柄的转数为  $n = \frac{40}{32} = 1\frac{1}{4} = 1\frac{7}{28}$  (r)，即分度一次时，手柄应转过 1 圈再在分度盘 28 的孔圈内转过 7 个孔距。分度叉按 7 个孔距（8 个孔）调整。

④ 对刀。使铣刀齿形的中心对准工件的中心。

⑤ 试铣。在工件边缘分度铣出全部齿数的刀痕，检查分度误差及工件、铣刀装夹情况，以便稳定地铣削。

⑥ 粗铣齿形。根据试铣刀痕的切深，确定背吃刀量，以  $v_c=30\text{m/min} \sim 32\text{m/min}$  的铣削速度（铣刀转速为  $95\text{r/min} \sim 118\text{r/min}$ ）和约  $2/3$  齿深（ $4.5\text{mm} \sim 5\text{mm}$ ）的背吃刀量，粗铣出各齿形。

⑦ 精铣齿形。分两次精铣，第一次背吃刀量  $a_p=1\text{mm} \sim 1.2\text{mm}$ ，铣好几齿后，跨 4 齿测量公法线长度  $w'$ ，根据所要求的公法线长度  $w$  值，求出公差  $\Delta w(\Delta w = w - w')$ ，再由  $\Delta w$  值确定需再增加的背吃刀量  $a_p$  值（ $a_p = 1.46\Delta w$ ），在铣出其余所有齿形后，背吃刀量取  $a_p$ ，精铣出所有齿形。精铣时，铣削速度  $v_c$  取  $40\text{m/min}$  左右，即铣刀转速为  $150\text{r/min} \sim 190\text{r/min}$ 。精铣后，跨四齿测量公法线长度  $w = 32.40_{-0.20}^{-0.10} \text{mm}$ ，弦齿厚为  $4.71_{-0.05}^0 \text{mm}$ ，齿面表面粗糙度为  $R_a 3.2\mu\text{m}$ 。

(3) 加工注意事项。

① 做好齿形的检测工作。齿轮的检验项目很多，直齿圆柱齿轮主要的检测项目有弦齿厚和公法线长度值两种。

- 测量圆弦齿厚。弦齿厚测量分为分度圆弦齿厚与固定弦齿厚两种，利用齿厚游标卡尺来检测。

当压力角为  $20^\circ$  时，固定弦齿厚  $s_c$  和固定弦齿高  $h_c$  应为

$$\begin{aligned} s_c &= 1.387m \\ h_c &= 0.746m \end{aligned} \quad (3-18)$$

式中， $m$ ——齿轮的模数，单位为 mm。

测量时按固定弦齿高  $h_c$  调好齿高游标卡尺的位置，并贴紧齿顶，然后移动齿厚卡尺，即可测出固定弦齿厚  $s_c$ （见图 3-53）。由于测量时以齿顶圆为测量基准，而齿顶圆的公差较大，因此，调整固定弦齿高  $h_c$  尺寸时，应减去齿顶圆基本尺寸与齿顶圆实际尺寸之差的一半。

本例按图 3-51 所示，分度圆弦齿厚  $\bar{s} = 4.71_{-0.05}^0$  mm（如未注明，则需经过计算或查表求得）。测量  $\bar{s}$  时，需先计算出分度圆弦齿高  $\bar{h}_a$ 。其计算公式为

$$\bar{h}_a = m \left[ \frac{z}{2} + \frac{z}{2} \cos \frac{90^\circ}{z} \right] \quad (3-19)$$

式中， $\bar{s}$ ——分度圆弦齿高，单位为 mm；

$m$ ——齿轮的模数，单位为 mm；

$z$ ——齿轮齿数。

本例  $\bar{h}_a = m \left[ \frac{z}{2} + \frac{z}{2} \cos \frac{90^\circ}{z} \right] = 3\text{mm} \left[ \frac{32}{2} + \frac{32}{2} \cos \frac{90}{32} \right] = 3.06\text{mm}$ 。

的值也可直接从

有关表格中查出。

测量时，在齿厚卡尺上调整好  $\bar{h}_a$  的尺寸，并使尺边抵住齿顶圆，然后用横尺测量齿厚尺寸。

• 测量公法线长度。公法线长度综合反映了齿轮的基圆齿厚和基圆齿距。公法线长及其允许偏差值一般在图样上已标注出如未标出，可查表确定或按下式计算：

$$W = m k [0.9521(k-1) + 0.014z] \quad (3-20)$$
$$k = 0.111z + 0.5$$

式中， $W$ ——公法线长度，单位为 mm；

$k$ ——跨测齿数；

$m$ ——齿轮的模数，单位为 mm；

$z$ ——齿轮齿数。

公法线长度用游标卡尺或公法线千分尺测量（见图 3-54）。前者适用于齿槽较宽、精度较低的齿轮。测量时，按规定的跨测齿数  $k$  轻轻摆动量具，使量爪的两个平面与齿面相切，测出的最小读数即为公法线长度实际值。

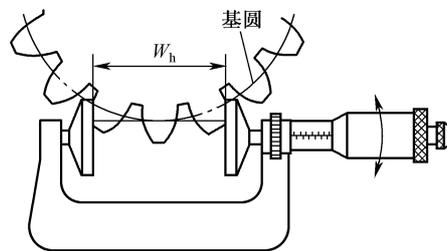
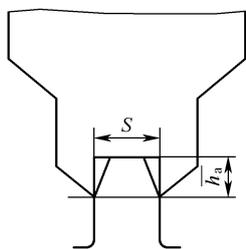


图 3-53 用齿厚卡尺测量弦齿厚

图 3-54 公法线长度的测量

② 齿形尺寸的控制。工件铣完几个齿或粗铣后，需根据测量结果调整铣削深度，以保证加工尺寸。

- 测量弦齿厚时尺寸的调整。用弦齿厚检测时，铣削深度  $a_p$  的调整量（或第二次铣削深度）可按下式计算（压力角为  $20^\circ$ ）：

$$\Delta a_p = 1.37(S - S_c) \quad (3-21)$$

式中， $\Delta a_p$ ——铣削深度的调整量，单位为 mm；

$S$ ——实际测得的工件固定弦或分度圆弦齿厚，单位为 mm；

$S_c$ ——图样上要求的固定弦或分度圆弦齿厚，单位为 mm。

- 测量公法线长度时尺寸的调整。见本例精铣齿形方法。

③ 增加工件铣削时的刚度。安装工件的心轴应有较好的强度和一定的硬度，长度应尽量短些，使铣削时铣刀不碰及两侧分度头顶尖上鸡心夹头拨盘和尾座即可。为防铣削时工件受力下垂，可在工件下面用千斤顶支撑。

④ 忌操作分度头不正确。铣削齿轮时，应正确地操作分度头。若分度叉位置移动，定位插销所插的孔数有变，则所铣出的齿距会产生较大的误差；若分度手柄未朝一个方向均匀转动，或手柄不慎多摇，未正确改正，则使得蜗杆蜗轮间隙不能消除，铣削时会造成齿厚不等及齿距误差过大；若铣削时，分度头主轴未紧固，会使工件振动较大，影响到表面粗糙度值。

⑤ 忌背吃刀量调整错误。背吃刀量调整不当，会造成铣削后齿高和齿厚不正确。调整背吃刀量不能单凭肉眼观察和经验的粗略估测，需经过精确的测量和计算以保证齿形加工精度。

⑥ 不宜采用过大的铣削用量。由于齿轮精度不高，操作者往往急于求成，试图在粗铣后一次就精铣出全部齿形，甚至不经精铣就直接铣出。若如此加工，则不但齿面表面粗糙度值无法保证，而且很难确保齿形的精度。因为过大的切削用量会使铣削时产生较大的振动，也易损坏铣刀刀齿，从而破坏所铣齿形。

为此要合理选择好铣削用量，严格划分粗、精铣两个加工阶段。粗铣时，不宜采用过大的铣削速度，在经测量计算确定背吃刀量后；精铣时，可适当提高铣削速度，以降低工件表面粗糙度。

⑦ 忌“干铣”或切削液供应不足。