

机床工艺試驗研究資料汇编

大連机床厂 編

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书为大连机床厂技术部門根据生产上的問題,进行試驗、研究的結果,擇其有交流价值者,加以整理汇编而成。

本书專門介紹先进工艺和工夾具改进方面的資料,內容包括有:精密漸开錢柄的制造工艺、强力剃齿試驗、工件平面的精密加工——“点磨削”、彈簧卡头的制造工艺、利用机械无級调速机构进行等速切削、机床傳动系統中的无級调速机构、方刀架鑽模,这些內容对实际生产具有一定的帮助。

本书可供各机械制造厂、試驗研究等部門的技术人員参考。

机床工艺試驗研究資料汇编

大 連 机 床 厂 編

*

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

中华书局上海厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印張 2 4/32 字數 54,000

1960年3月第1版 1960年3月第1次印刷

印数 1—5,000

統一书号: 15119·1426

定价: (十二) 0.32 元

前 言

試驗研究工作是工厂里設計与制造工艺的开路先鋒，是机器制造中的重要一环。

在苏联的机器制造厂里党和行政都非常重視試驗研究工作，目前苏联各厂都有较完整的試驗机构（如工艺、机床、理化等試驗室）。

我国自第一个五年計劃开始到现在，在党的正确领导下各厂先后建立了試驗机构。几年来事实証明試驗工作是完全能够解决工厂的設計与制造工艺难题的。不仅如此，試驗研究单位还可以直接完成車间所不能加工的高精密零件，象漸开綫蜗杆就是一个很好的例子。

为了使我们各項的試驗成果能及时交流，特将这些試驗研究資料加以汇编成册。本书仅供机器制造厂及有关試驗研究等单位的工程技术人员参考。因編者水平所限在內容上可能有不当之处，希讀者指正，以便改进。

大連机床厂

一九五九、十一月

目 录

前言

1. 精密渐开线蜗杆的制造工艺.....	1
2. 强力剃齿试验.....	14
3. 工件平面的精密加工——“点磨削”.....	26
4. 弹簧卡头的制造工艺.....	32
5. 利用机械无级变速机构进行等速切削.....	35
6. 机床传动系统中的无级调速机构.....	45
7. 方刀架钻模.....	60

一、精密漸開綫蝸杆的制造工艺

荆永亮

(一) 概 述

在机床制造业中漸開綫蝸杆現尙未被广泛应用，这是由于它在制造上存在着一定困难，并需要专用机床来加工。随着机床制造业飞跃的向着高精度方向发展，因此对于提高被加工工件或刀具的制造精度，也就提出了更高的要求，我厂仿苏设计的C8916M型(MB-10)精密銼磨床，是用于銼磨精密滾刀以及花鍵軸滾刀。

该机构中的主运动，如图 1-1 所示，漸開綫蝸杆 1 与斜齿輪 3 相嚙合之后，便带动同一軸上的漸開綫凸輪 2，该凸輪便将运动傳遞給主軸，借助重块 6，可使主軸向前或向后作直线运动。同时主軸上齿輪 4 与另一軸上的长圓柱齿輪 5 相嚙合，并带动主軸旋转，故主軸的合成运动便成为螺旋运动。

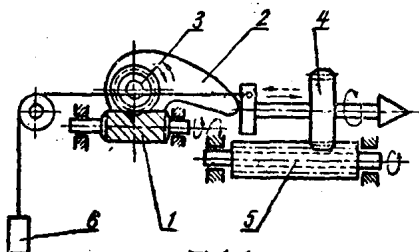


圖 1-1

根据螺旋齿輪的嚙合原理(即兩齿輪軸綫既不平行又不相交)，在端面中都应是漸開綫的齿形。因此在設計上就采用了漸開綫蝸杆，工作时傳遞平穩，齿輪磨損小，且工作效率高(根据英国布朗公司的資料可达 97%)。

經試驗証明，漸開綫蝸杆的制造并不比制造阿基米德蝸杆复杂，而且在某些情况下反而简单，因为该蝸杆在工艺上的最大优点，就是可用平面砂輪加工。对于砂輪本身的修整，也并不困难。

(二) 母綫爲直綫螺旋面的几種形式

圓柱蝸杆就是由两个同心圓柱面和两个一定形式的螺旋面所組成的物体。圓柱蝸杆共分四种类型,每一类蝸杆的特征,取决于其橫截面上的齿形。其中对第四种类型(即母綫为曲綫的蝸杆),因非所研究的内容,就不再詳述;其余三种类型的圓柱蝸杆,都有一个相同的特点,即其螺旋面作螺旋运动而构成的,亦就是说这些表面是直綫的螺旋面,如图 1-2 所示。

第一类型——阿基米德蝸杆(图 1-2 甲),或者是当形成螺旋面的直綫,固定地通过蝸杆中心时得出的螺旋綫蝸杆。在平面通过蝸杆中心綫的截面內,阿基米德蝸杆的螺旋綫成直綫形;在平面垂直于螺旋綫的截面內,則成曲綫形。其特征就是这种蝸杆在平面垂直于蝸杆中心綫的截面內,得出阿基米德螺旋綫。而其缺点是傳动效率低,通常为 50~80%,所以蝸輪副磨損较快,因此只适用于不重要的、載荷小的以及转速低的場合。

第二类型——漸开綫蝸杆(图 1-2 乙),从图中看到直綫 AB 和半徑 r_0 的圓柱相切, AB 与蝸杆軸綫的垂直綫交成 τ_0 角。当此直綫环绕圓柱体无滑动的转动时,此直綫的空间运动轨迹表面为漸开綫螺旋面,半徑 r_0 的圓柱,即称为漸开綫螺旋面的基圓柱,此 τ_0 角为此螺旋面在基圓处的螺旋升角。这个螺旋表面在和軸心垂直的截面中,将得到漸开綫。

第三类——延伸漸开綫(图 1-2 丙),它的螺旋面是由直綫在螺旋运动时所构成,该直綫永远与导向圓柱 r_0 相切。

延伸漸开綫螺旋面与漸开綫螺旋面两者所不同的,就是延伸

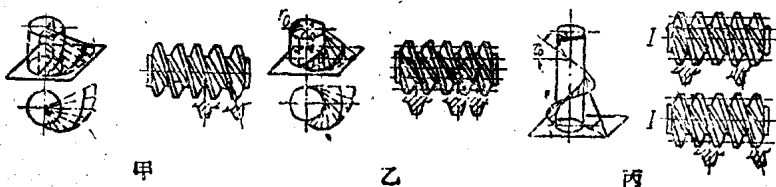


圖 1-2

甲-阿基米德蝸杆; 乙-漸开綫蝸杆; 丙-延伸漸开綫蝸杆

渐开线螺旋面的母线只与圆柱相切,而渐开线不仅与圆柱相切,并且与该圆柱上螺旋线相切(如图 1-3)。

渐开线与延伸渐开线之方程式由图 1-4 可证。

渐开线有三种: (1) 渐开线; (2) 延伸渐开线; (3) 变短渐开线。

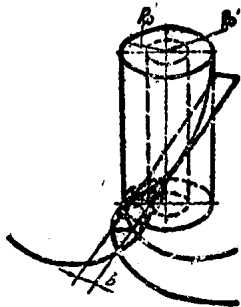


图 1-3

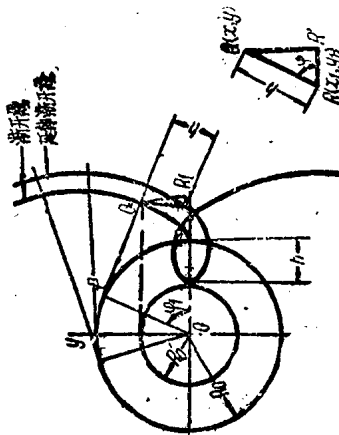


图 1-4

在 Q 点坐标的渐开线方程式

$$\begin{cases} x = R_0 [\cos \varphi + \varphi \sin \varphi] \\ y = R_0 [\sin \varphi - \varphi \cos \varphi] \end{cases} \quad (1)$$

求证: 由图 1-4 得:

$$\overline{OP'} = x$$

$$\overline{OP''} = y$$

$$\begin{aligned} \overline{OP'} &= \overline{SR} - \overline{TO} = \overline{SP} \sin \varphi - \overline{OS} \cos (180^\circ - \varphi) \\ &= \overline{SP} \sin \varphi + \overline{OS} \cos \varphi \end{aligned}$$

$$\overline{SP} = \widehat{SQ} = (\varphi - \varphi_0) R_0$$

$$\therefore x = R_0 (\varphi - \varphi_0) \sin \varphi + R_0 \cos \varphi$$

$$\begin{aligned} \overline{PP'} &= \overline{OP''} = \overline{RP'} + \overline{RP} = R_0 \sin \varphi + \overline{PS} \cos (180^\circ - \varphi) \\ &= R_0 \sin \varphi - R_0 (\varphi - \varphi_0) \cos \varphi \quad \text{又} \quad \overline{PP'} = \overline{OP''} \end{aligned}$$

整理后则得:

$$\begin{cases} x = R_0 \cos \varphi + R_0(\varphi - \varphi_0) \sin \varphi \\ y = R_0 \sin \varphi - R_0(\varphi - \varphi_0) \cos \varphi \end{cases}$$

求新坐标中 R 点(图 1-5)的延伸渐开线方程式:

$$x_1 = x - \overline{RR'}$$

$$y_1 = y - h \sin \varphi$$

$$\therefore \overline{RR'} = h \cos \phi$$

(由图 1-5 可看出

$$\varphi_1 = \varphi - \varphi_0)$$

故得:

$$x_1 = R_0 [\cos \varphi + \varphi_1 \sin \varphi] - h \cos \varphi$$

$$y_1 = R_0 [\sin \varphi - \varphi_1 \cos \varphi] - h \sin \varphi$$

整理后得:

$$\begin{cases} x_1 = (R_0 - h) \cos \varphi + R_0 \varphi_1 \sin \varphi \\ y_1 = (R_0 - h) \sin \varphi - R_0 \varphi_1 \cos \varphi \end{cases} \quad (2)$$

该方程式与渐开线方程式不同,就是两个常数,即 $(R_0 - h)$ 与 R_0 。令 $R'_0 = R_0 - h$, 当 $h = 0$ $\therefore R'_0 = R_0$, 故该方程式为渐开线方程式。

(三) 精密渐开线蜗杆磨削之原理

(1) 两轴非平行磨削法 渐开线齿形的磨削试验, 是在 C 620-3 万能螺丝车床上进行的。这种磨削方法, 就是将砂轮轴绕摆动与被磨工件轴线相交 τ_0 角, 即螺旋面的母线与垂直于蜗杆的轴线的交角 τ_0 为基圆上的螺旋升角, 故称之为两轴非平行磨削法(图 1-6), 其原理如下:

如果把一个包罗在圆柱体上的三角形纸片向外展开, 则其斜边所经过的空间轨迹, 就是一个

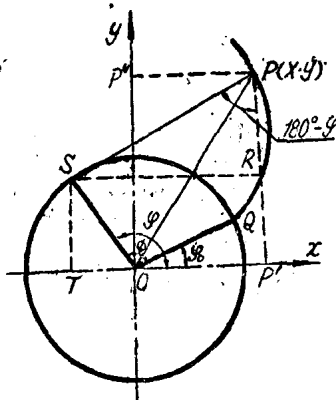


图 1-5

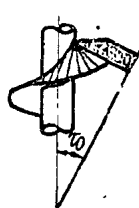


图 1-6

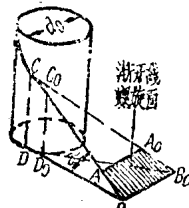


图 1-7

漸開綫螺旋面(圖1-7中 A_0B_0 、 BA)。

$$\operatorname{tg} \tau_0 = \frac{t}{\pi d_0} \quad (3)$$

式中

$$d_0 = \frac{t}{\pi \operatorname{tg} \tau_0}$$

$$\cos \tau_0 = \cos \tau \cos \alpha \quad \text{on} \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{Z_1 \cdot m}{2D_s} \quad (5)$$

式中 τ_0, τ ——基圓柱分齒圓上旋綫的導程角

d_0, D_s ——蝸杆基圓與分齒圓直徑

Z_1, t ——蝸杆的綫數與導程

令平面 H 與机床的導軌水平面相平行，並且蝸杆基圓柱的軸綫 $y-y$ 亦平行於 H 。母綫 MN 的空間軌迹，就形成了漸開綫螺旋面 Q ，取該螺旋面中的任意一個三角形 MNB 平行於 H (圖1-8)。

將三角形 MNB 投影在平面 H 上仍然是一個三角形 $M'N'B'$ ，即：

$$\triangle MNB = \triangle M'N'B'.$$

由於 $MN = M'N'$ ， $MB = M'B'$ ， $NB = N'B'$ ，

故在平面 H 上就構成齒廓。因此可用砂輪端面來磨制，並與工件軸綫相交 τ_0 角(圖1-9)。

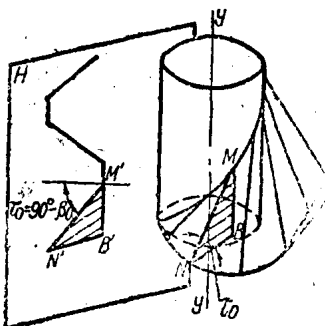


圖 1-8

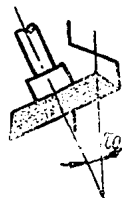


圖 1-9

(2) 平行軸磨削法② 圖1-10所示，是在 $MM582$ 螺絲磨床或蝸杆磨床上，進行平行於軸綫磨削漸開綫蝸杆的方法。

① 參閱“齒輪刀具”的理論基礎公式6 [式中令 $\beta_s = (90^\circ - \tau_s)$ ， $\beta_0 = (90^\circ - \tau_0)$ ，即得該公式]。

② 參閱大連工學院學刊 1957 年第2期。

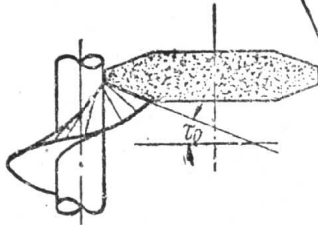


圖 1-10

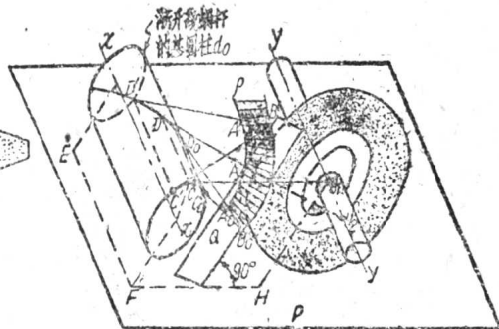


圖 1-11

今設平面 P (圖 1-11) 代表机床床面的水平基准面, 蜗杆基圆柱的軸綫 $x-x$ 平行于 P 素綫 AB 的空間軌迹, 就形成了漸開綫螺旋面 R , 平面 CBD 平行于 P 。

通过 AB 可作一平面 Q 垂直于 P , 由于 CD 是 AB 的瞬时回轉軸綫, 因此不难理解 R 一定和平面 Q 相切于直綫 AB 。如果砂輪的軸綫 $y-y$ 平行于 $x-x$, 并与 CB 、 CD 的延綫分別相交于 y_1 与 y_2 , 則砂輪也将可以和平面 Q 相切于 $A'B$, 也就是說砂輪將和蜗杆相切于直綫 AB 。这时如果工件沿軸綫 $x-x$ 作螺旋运动, 則所磨出来的表面便正是我們所需要的漸開綫蜗杆的側面。

同时通过 $DC y_1 y_2$ 作一断面, 不难看出砂輪整形時应有的角度, 正是上述的 τ_0 角 (圖 1-12)。

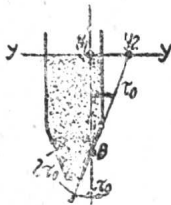


圖 1-12

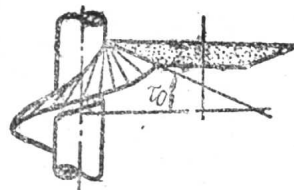


圖 1-13

(3) 平行軸錐面砂輪磨削法 該磨削法与上述平行軸的磨削法原理基本相同, 而所不同的只在于砂輪整形 (圖 1-13) 方面。其原理如下:

將漸開綫螺旋面中取任意其中一個三角形 MNT ，作 $y'-y'$ 軸，距離 r 並在三角形 MNT 平面內。母綫 MN 延長交於 $y'-y'$ 軸上 O 點， $y'-y'$ 軸與 $y-y$ 軸相平行將 OM 直綫繞 O 點回轉，即構成爲圓錐體，取該圓錐體的母綫 OM 的一段並等於 MN 的錐面砂輪寬度(圖 1-14)，而砂輪的圓錐角應等於基圓柱的螺旋綫的升角，則砂輪所磨出來的就是漸開綫蝸杆的側面(圖 1-15)。

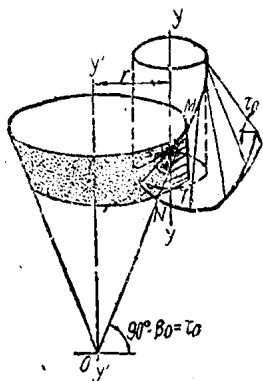


圖 1-14

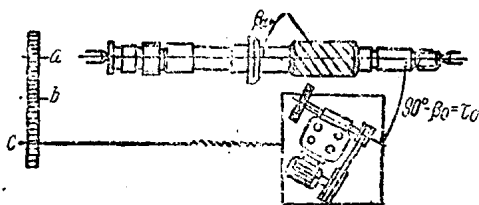


圖 1-15 在 C620-3 車床上磨漸開綫蝸杆

(四) 工藝試驗過程

(1) 初步試驗 根據兩軸非平行磨削法和試驗室內已有的工藝設備——在 C620-3 (1 K 62) 萬能螺絲車床刀架上裝置萬能機頭，在該機頭的主軸上裝一成形砂輪(圖 1-15)。

該試驗是為了能否獲得正確的漸開綫齒形，以及證明原理的正確性。砂輪整形問題很簡單，並不需用專用或特殊的砂輪夾具。在該機床上用卡盤和尾架夾緊金剛石，使拖板進給後，刀架往復縱向運動而打制砂輪的一側平面和另一側平面。磨工件一側齒形時，將砂輪軸轉動一個基圓的上升角，而磨另一側齒形時，同樣的也轉動一個基圓上升角。

經計量檢定結果(在萬能工具顯微鏡上檢驗漸開綫齒形的直綫)非常良好，故証明了該方法切實可行。按精度不同的要求，可

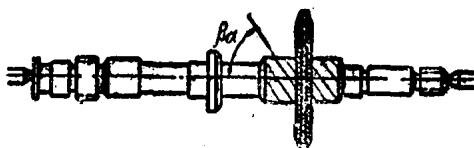


圖 1-16

在K96 鏟床上磨制漸開綫蝸杆。

(2) 精度試驗 為了保證漸開綫蝸杆的精度要求，則應用兩軸平行磨削原理(圖 1-16)。

在我廠工具車間 MM582 螺絲磨床上進行磨削試驗，該機床並附有打砂輪的裝置。

砂輪角的計算：

分齒圓的螺旋角 τ

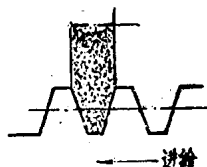


圖 1-17

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{Zm}{d} = \frac{1 \times 2.5039}{45} = 0.05564$$

$$\therefore \tau = 3^{\circ}11'5''$$

基圓螺旋角 τ_0

$$\cos \tau = \cos \tau_0 \cdot \cos \alpha_{on} = \cos 3^{\circ}11'5'' \cos 20^{\circ} = 0.9382348$$

$$\therefore \tau_0 = 20^{\circ}14'25''$$

基圓直徑

$$d_0 = \frac{Z \cdot m}{\operatorname{tg} \tau_0} = \frac{1 \times 2.5039}{\operatorname{tg} 20^{\circ}14'25''} = 6.99116 \text{ 毫米。}$$

將砂輪的角度打至 $20^{\circ}14'25''$ ，由於打砂輪的刻度裝置的副尺精密至 $6'$ ，很難一次打成所需要的砂輪角度。因此磨出漸開綫蝸杆計量後再修正砂輪，即可得到需要砂輪角度(d_0 用於計量漸開綫齒形和車削螺紋)。

經檢定結果，對漸開綫蝸杆的要求來說，在一級精度之內(見表 1+1)。

表 1-1

檢 查 項 目 件 号	1 井 ①		2 井		3 井		备 注
	实 际 誤 差 毫 米						
齿 距	-0.003		+0.0045		+0.0045		
累 积	-0.007		+0.0095		+0.01		
内 徑	-0.088		-0.51		0.91		
基圓螺旋上升角	左 -5'	右 -7'	左 +6'35"	右 -2'	左 +4'	右 +1'	
齿 形	直綫性合格		直綫性合格		直綫性合格		
齿 厚	-0.0169		-0.03		-0.03		

① 按法向模数为 2.5 挂輪

在精磨过程中两侧齿形用一次磨削(图 1-18),則发现齿形的两侧面上有崩紋,这是由于材料硬度很高(Rc 62)和工件細长而刚性较差,以及砂輪問題。消除办法,主要是改变磨削方法,将前磨削法改为二次磨削(即每次磨齿形一側面,参見图 1-17),并装置跟刀架,这样消除了表面崩紋現象。粗磨时可用一次磨削,其挂輪計算是根据 MM582 螺絲磨床按模数挂輪的計算公式进行,即:

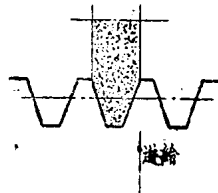


圖 1-18

$$i = \frac{m \times 66}{3 \times 1035}$$

当軸向模数 $m = 2.5039$ 时

$$i_1 = \frac{2.5039 \times 66}{3 \times 1035} = 0.5246266666$$

得出挂輪比近似值

$$i_1' = \frac{341}{650} = \frac{66 \times 62 \times 60}{100 \times 78 \times 60} = 0.52462$$

挂輪比绝对誤差 Δ 之計算

$$\Delta = i_1 - i_1' = 0.5246266666 - 0.52462 = 0.0000066666$$

挂輪比相对誤差 δ 之計算:

$$\delta = \frac{\Delta}{i_1} = \frac{0.0000066666}{0.5246266666} = 0.000012706$$

在实际工作中挂輪比的相对誤差比绝对誤差还重要, 因为知道挂輪的精度和实施效果。

【例】在苏联 MM 582 螺絲磨床上磨制漸开綫蝸杆, 螺距为 7.866, 計算出的相对誤差 $\delta = 0.0000127$ 求挂輪螺距的誤差。

【解】 $\Delta t = t \cdot \delta = 7.866 \times 0.0000127 = 0.000099898$

即每个螺距中有 0.000099898 毫米的挂輪精度的誤差。

(五) 漸开綫蝸杆車削時刀具的安裝

机械制造中所用蝸杆之间的区别, 就在于它們螺旋面形成的方法, 并决定于用以加工螺旋面的切刀在車床上的安裝位置。

根据漸开綫蝸杆的原理, 其螺紋左右側面可用两把直綫切削刀的切刀来切割。切刀的齿形角应等于 α_n , 即等于蝸杆的齿形角。每把車刀应裝在軸綫平行面內, 它与軸綫的距离 a 等于基圓柱的半径 r ($r = 3.39558$ 毫米), 并根据螺紋被切面的方向裝在軸綫的上方或下面。若漸开綫蝸杆是右旋, 則切刀的安裝如图 1-19 所示, 即螺紋左側面是用安于軸綫的切刀 I 来加工, 右側面則用低于軸的切刀 II 来加工。这样螺旋面的形成是由切刀的刀刃保持, 它和直径为 $2r$ 基圓柱相切位置时, 沿与蝸杆軸綫同心螺旋綫运动而得到漸开綫螺旋面。

在初步和精度試驗切削螺紋时, 采用阿基米得蝸杆切削加工方法。切刀的刀刃处在蝸杆的軸向平面內 (图 1-20), 这时螺旋面

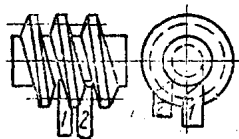


图 1-19

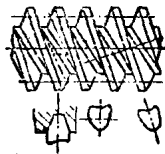


图 1-20

即由通过蜗杆轴线的刀刃沿与蜗杆轴线同心的螺旋运动而成。

上述加工螺旋面的方法,对于具有大升角的蜗杆时很不适用,因为这时车刀的几何形状和切削条件都不利。因此须改变安装切刀的方法。

切刀的齿廓设计 切刀设计与车削阿基米德蜗杆的切刀设计相同。切刀通过蜗杆的轴向平面安装,这样安装切刀比加工渐开线蜗杆简便,而有足够余量磨制渐开线齿形,即齿形侧面和外圆余量为0.15和0.50毫米(图1-21)。

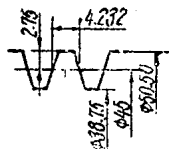


图 1-21

(六) 确定工艺路线及其加工方法

为使渐开线蜗杆能达到一级精度的要求,根据零件的工艺特性并结合现场已有的设备条件,编制了工艺(图1-22),进行了试验,具体的工艺路线及其加工方法,见表1-2。

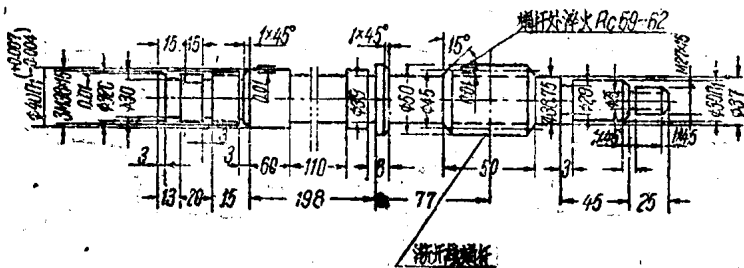


图 1-22

技 术 要 求

1. 单头右旋
2. 蜗杆精度等级为 I 级
3. 蜗杆为渐开线型蜗杆; 齿形公差为 0.012
4. 法向模数 $m_n = 2.5$
轴向模数 $m = 2.5039$
5. 螺旋角 $\beta = 3^\circ 11' 5''$
6. 法向截形压力角 $\alpha_{ox} = 20$
7. 轴向螺距 $t = 7.86 (\pm 0.008)$
8. 轴向螺距累积误差 ± 0.015
9. 齿厚公差 $S = 3.933 (\pm 0.005)$

表 1-2

操作号	操 作 内 容	使用设备	备 注
1	切 料	切料机	
2	車兩端面及銑兩端中心孔	1A62	
3-1	精車外圓各空刀及絲扣 $\phi 50$, $\phi 32$, $\phi 40H$, $\phi 30H$ 留磨	1A62	
3-2	磨車阿基米得齒形, 齒形的每側面留磨 $0.15 \sim 0.20$ 和外圓留磨 $0.4 \sim 0.5$ 毫米	1A62	
4	銑鎖槽		
5	淬 火	热处理	
6	磨外圓 $\phi 30H$, $\phi 50$, $40H$, $\phi 32C$ 及 ∇_7 之端面	3151 外磨	
7	磨漸開綫齒形	582 螺絲磨或 K96 銼床	

(七) 漸開綫蝸杆的齒形測量方法

在万能工具显微镜上檢驗漸開綫蝸杆时, 显微镜可摆成垂直方向(图 1-23), 将刀垫高或放低 a 的距离 (即 $a = r_0 = \frac{t}{2\pi \operatorname{tg} \tau_0} = 3.39558$ 毫米), 在显微镜的目鏡中观察蝸杆齿形是否直綫 (根据漸開綫蝸杆展成原理它是直綫), 其齿形角之一半 α 应等于蝸杆基圓螺旋綫的上升角 τ_0 。

齿形結果处理如下(图 1-24):

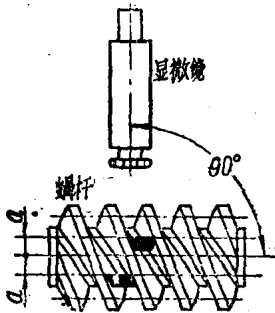


圖 1-23

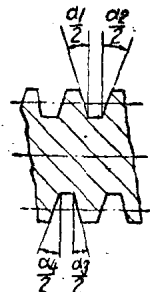


圖 1-24

$$\tau_0'_{\text{左}} = \frac{\frac{\alpha_2}{\alpha} + \frac{\alpha_3}{\alpha}}{2}$$

$$\tau_0'_{\text{右}} = \frac{\frac{\alpha_1}{\alpha} + \frac{\alpha_4}{\alpha}}{2}$$

(八) 結 論

(1) 經過試驗証实, 精度等級相同的漸开綫蝸杆与阿基米德蝸杆相比较, 从制造来看漸开綫蝸杆比较简单, 并不复杂。

(2) 用两軸平行磨削法在 MM582 螺絲磨床上磨制, 所得蝸杆精度完全达到 1 級。缺点是所磨螺紋的工作高度受一定限制, 在螺紋牙底上有一段地方磨不出应有的曲綫, 因此只能应用在升角較小的蝸杆。多头蝸杆一般升角較大, 不适于此法加工。

(3) 可在 K 96(C 8955) 銑床上用砂輪的端平面来磨制漸开綫蝸杆, 其缺点是調整刀架摆动角度的时间长, 但最大优点是砂輪整形简单。

(4) 精度要求不高的漸开綫蝸杆, 在普通車床的刀架上附加我厂最近試制万能机头^①亦能磨制漸开綫蝸杆。

(5) 切制漸开綫蝸杆的螺紋时, 切刀安装可用車阿基米得蝸杆的方法。

参 考 資 料

1. 卡西林著: 机器制造工艺学。
2. 巴拉克辛著: 机床制造工艺学。
3. СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТ. 1957 年第 1 期。
4. 謝明欽科著: 齒輪刀具。
5. 袁哲俊編: 刀具設計。
6. 陈企平著: 漸开綫蝸杆的平行軸磨削法。大連工学院學刊。1957 年 2 期。

① 參閱上海科学技术出版社出版“万能机头”1959 年 12 月。