

挤压丝锥

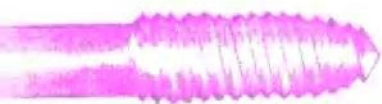
B. M. 明沙柯夫

〔苏〕 Г. П. 乌拉波夫 著

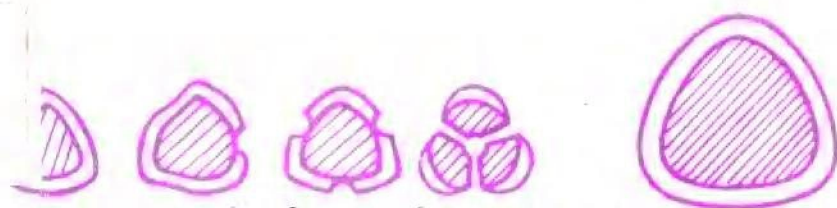
B. C. 谢列达

孙士珍 张景文 译

陈祥元 校



722



国防工业出版社

内 容 简 介

本书是在大量实验的基础上,着重论述了挤压丝锥的理论、计算和设计问题。书中对螺纹挤压过程的基本概念、挤压丝锥的最佳几何参数、最佳加工规范及其怎样选择才能提高挤压丝锥寿命和生产率等问题做了详细的阐述,还介绍了挤压丝锥的制造工艺、螺纹挤压工艺等方面的内容。

本书可供机械加工专业的技术人员、技术工人阅读,也可供大专院校有关专业师生参考。

БЕССТРУЖЕЧНЫЕ МЕТЧИКИ

В. М. МЕНЬШАКОВ

Г. П. УРЛАПОВ

В. С. СЕРЕДА

МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ" 1976

*

挤 压 丝 锥

В. М. 明沙柯夫

【苏】 Г. П. 乌尔拉波夫 著

В. С. 谢列达

孙士珍 张景文 译

陈祥元 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 6 128 千字

1983年10月第一版 1983年10月第一次印刷 印数: 0,001— 3,700册

统一书号: 15034·2561 定价: 0.67元

前 言

机器制造业的不断发展是与掌握新的高效率金属加工方法紧密相联的。在零件制造中,采用无屑加工(冷压)乃是现代机器制造工艺的发展方向之一。例如用塑性变形法加工外螺纹就有良好的效果。滚压螺纹与切削螺纹相比,可提高劳动生产率、节约金属并提高零件的寿命达数倍。

众所周知,现代机器和机构中有60%以上的零件皆带有螺纹孔。用切削丝锥加工有色金属及其合金以及高塑性钢件上的螺纹孔乃是一个相当复杂的工艺课题,这在加工精度高的螺纹孔时尤为突出。

研制新的刀具材料,改进丝锥的结构及其切削部分几何形状的最佳化,改善工作表面质量,采用最佳规范和新的冷却液,都不能完全解决在高塑性材料上加工内螺纹的高效率和质量问题。

用具有显著工艺潜力和高生产率的挤压丝锥以塑性变形(挤压)法加工内螺纹乃是非常有前途的一种方法。当然,按其具有的特性,这种方法并不能完全代替用切削丝锥加工螺纹孔,但它可以作为加工螺纹孔的一种重要的补充方法。

本书论述了挤压丝锥的理论、计算和设计问题,及其使用方法与合理应用范围。并且是在车里雅宾斯克工学院《机床与工具》教研室的科研室和车里雅宾市工业企业中进行了大量实验的基础上写成的。

目 录

一	螺纹挤压过程的基本概念	1
二	挤压丝锥横截面的形成	6
三	挤压锥部分的形式及形状分析	26
四	挤压丝锥的最佳几何参数	45
五	挤压丝锥的强度	83
六	挤压丝锥的制造工艺	94
七	螺纹挤压工艺	115
八	结论	184
九	附录	185
	参考文献	188

一、螺纹挤压过程的基本概念

用挤压丝锥加工内螺纹是一种金属塑性变形法。这种方法就是往大致等于被加工螺纹中径的毛坯孔 1 中拧入一个特殊的芯子（丝锥 2），此芯子的螺纹牙形与所要求的螺纹牙形相一致（见图 1）。在扭矩 $M_{\text{кп}}$ 的作用下，丝锥的挤压锥部分的棱脊挤入毛坯孔的内表面形成螺纹底部，而被挤出的金属作径向移动（进入丝锥丝扣之间的空隙），使工件螺纹牙形的高度逐渐增大。图 2 表示用挤压丝锥挤压钢 10 管接头上的螺纹时金属流动的状态。

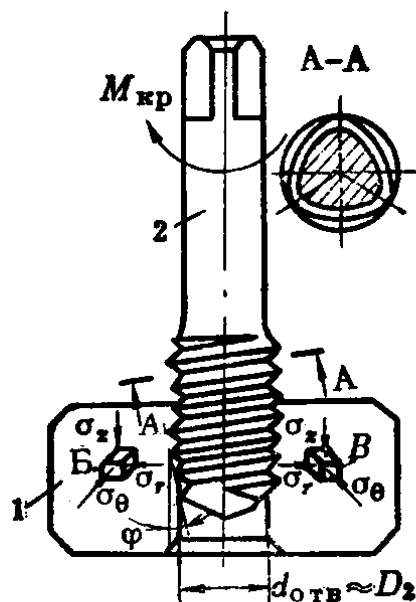


图 1 挤压螺纹示意图



图2 用挤压丝锥挤压1/2"管螺纹时的金属流动状态

在第一个棱脊挤入毛坯金属的深度为 $a = \frac{P}{n} \operatorname{tg} \varphi$ 之后，被形成的螺纹牙形的高度即增加到 h' ，第二个棱脊的总挤压深度为 $2a + h'$ ，第三个棱脊为 $3a + h''$ 等等。由

于丝锥的横截面不是圆形的,而是铲磨后的形状,所以在每一瞬间所挤压的丝扣并不是沿整个圆周的,而只是其一部分而已。所以,作用于金属变形区上的负荷是周期变化的,其变化频率取决于丝锥棱数和转数。作用并集中在丝锥棱脊与被加工材料接触部位上的周期应力,使材料产生塑性变形。

接触部位上所产生的法向负荷 P_n , 沿接触弧法线作用于工件上 (图 3), 可分成引起金属朝螺纹孔轴线作径向移动的径向力 P_r , 和引起金属在丝锥旋转方向上移动的切向力 P_θ 。在负荷 P_n 的作用下, 毛坯材料上出现切向应力 σ_θ 和径向应力 σ_r , 而在与丝锥旋转的相反方向上出现摩擦力 $F_{\text{тр}}$ 。径向应力 σ_r 不仅是被形成的螺纹槽底上的压应力 (图 1、单元 B), 而且也是挤压丝锥牙顶上的压应力 (图 1、单元 C)。工件具有自由

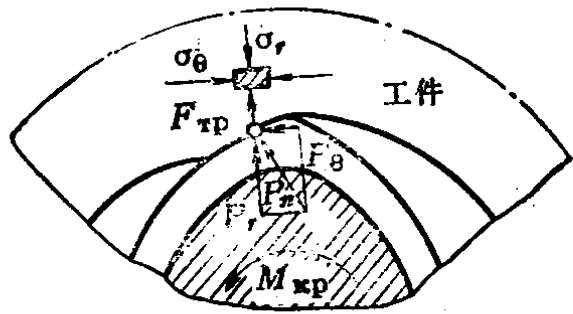


图 3 作用于丝锥棱脊与工件材料接触区上的力

端面在拧入丝锥时迫使金属作轴向流动。轴向应力 σ_z 和圆周应力 σ_θ 同样也是压应力。挤压螺纹时, 工件金属相应于各个方向压缩的应力状态, 可产生很大程度的变形。

丝锥横截面外形棱脊的实际几何形状对螺纹挤压过程具有非常重要的影响。横截面外形的方案有若干种。例如有一种丝锥结构, 与自攻螺钉不同之处是这种丝锥在加长的挤压锥部分表面上制有几个平面并在螺纹边缘倒圆角, 以便改善金属的塑性变形过程 (图 4 a)。捷克有一种取得专利权的丝锥, 具有与上述丝锥不同的结构。这种丝锥为多角形截面,

圆周上有棱脊和由等于 $(0.2 \sim 0.4)d_0$ 的半径 R 所形成的凹边(图4 б)。凹面与外表面的连接半径 r 等于 $(0.001 \sim 1)P$ 。丝锥的截面亦可为正椭圆三角形, 其各边制成大半径的圆弧状(图4 в)。因此, 这种丝锥的工作部分只有三个点1具有完整的牙形位于其公称外径上, 还有位于内径上的三个中点2。德意志民主共和国的一种丝锥结构是沿整个横截面周边均具有完整的螺纹牙形(图4 г)。有一种截面, 是由偏心凸轮所得曲线形成的突出部分1和圆弧部分2所组成的(图4 д)。还有由阿基米德螺旋线部分1和圆弧形部分2所组成的截面(图4 е)。图4 ж所示的是棱脊倒圆角的非正多角形的丝锥截面。这种截面的每个棱均有工作部分2、校准部分3和铲磨表面4。工作部分具有比铲磨部分更平滑和较小的斜度。为

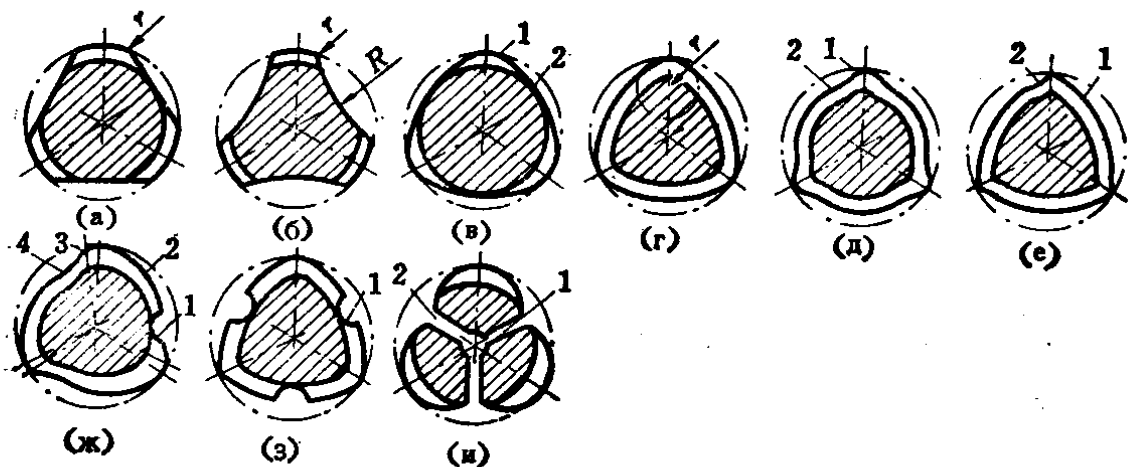


图4 挤压丝锥的横截面形状

- а、б、в—只在最高工作部分上具有完整螺纹牙形的对称截面,
г、д、е—周边均具有完整螺纹牙形的对称截面,
ж—周边均具有完整螺纹牙形并有一个润滑槽的不对称截面,
з—周边均具有完整螺纹牙形并有三个润滑槽的对称截面,
и—在最高工作部分上具有完整螺纹牙形并有中心润滑孔的对称截面。

了在攻盲孔时便于变形区的润滑和排气, 在这种丝锥的侧面

磨有与其轴线相平行的浅槽。有一种方案〔20〕在丝锥表面制有三个润滑槽（图 4 3）。日本（特许 12 C 级 142, 1 N 1748）所设计的丝锥在横截面上有由中心孔 1 进行分油的供油孔 2。

我们在研究上述横截面的各种形状时可按外形是否对称和外形上是否有完整的螺纹牙形（周边均有或只在其个别部分上有）来进行分类。周边均具有完整螺纹牙形的对称形截面的丝锥得到最广泛的应用。在本书中我们着重研究和探讨这种丝锥的最佳形状和尺寸。

在研究挤压螺纹过程特性的一般问题的同时，我们讨论一下有关挤压丝锥的术语和分类。现分述如下：

按 ГОСТ 9150-59，用塑性变形的办法加工公制螺纹的刀具称为挤压丝锥（图 5）。挤压丝锥的工作部分（直接参与螺纹牙形成形的整个螺纹部分）是沿其周边均有完整螺纹牙形的非圆（多棱）截面的螺杆。挤压丝锥由挤压螺纹的挤压锥部分 l_1 、校准部分 l_2 和尾部所组成。借助于尾部将丝锥固定在夹头上或丝锥铰杠上。挤压丝锥与普通丝锥的区别是在工作部分上无形成切削刃的纵向槽。

横截面外形诸元：

横截面外形的高点 1 是距丝锥轴线最远的点。外形的低点 2 是距丝锥轴线最近的点。外径铲背量 K ——与丝锥横截面外形高点和低点相切圆周直径之差的半数。中径铲背量 K_{cp} （图中未指明）——丝锥横截面外形高点和低点处螺纹中径之差的半数。向径 ρ ——丝锥横截面外形给定的点到其轴线的距离。棱脊半径 r ——丝锥横截面外形高点 1 的曲率半径。

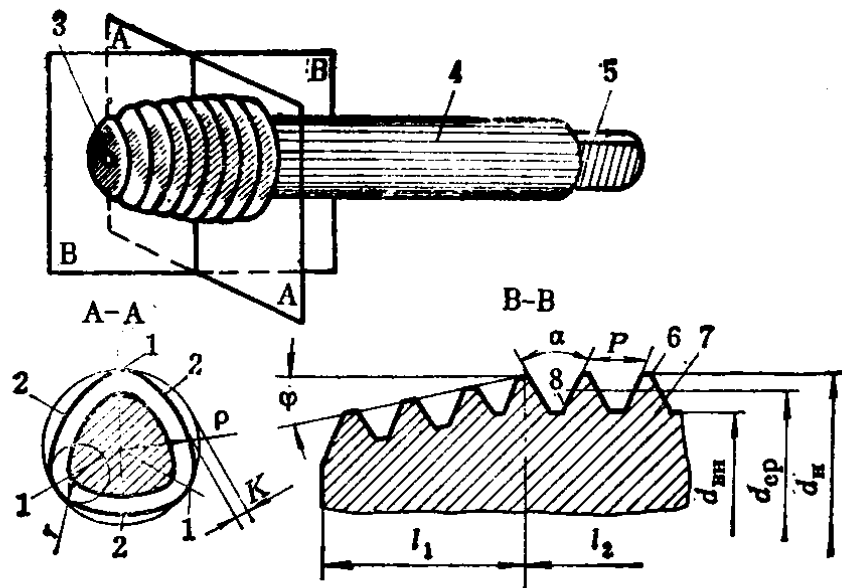


图5 挤压丝锥的结构诸元

1—横截面外形的高点；2—横截面外形的低点；3—中心孔，4—柄部，
5—方头；6—牙顶，7—丝扣，8—螺纹槽底。

丝锥螺纹诸元：

螺纹牙形——通过丝锥轴线及横截面外形一个高点的螺纹截面的轮廓。牙形侧面——螺旋表面上形成牙形的直线部分。角度 δ ——牙形两侧面之夹角。丝扣——牙形平面作螺旋运动每转一圈所形成的螺纹部分。牙顶——牙形两侧面的连接部分。高点牙顶（棱脊）对丝锥轴线可作直线分布（图6a），螺旋线分布（图6b）和交错分布（图6b）。螺纹槽底部——螺纹槽两侧的连接部分。外径 d_H ——丝锥横截面外形高点外切假想圆柱体的直径。中径 d_{cp} ——假想圆柱体的直径，其表面与螺纹相交处丝扣宽与螺纹槽宽度相等。内径 $d_{H.}$ ——与螺纹牙形底部相切的假想圆柱体的直径。螺距 P ——在平行于螺纹轴线方向上相邻牙形同一侧面间的距离（螺距）。挤压丝锥斜角 φ ——与丝锥轴线位于同一平

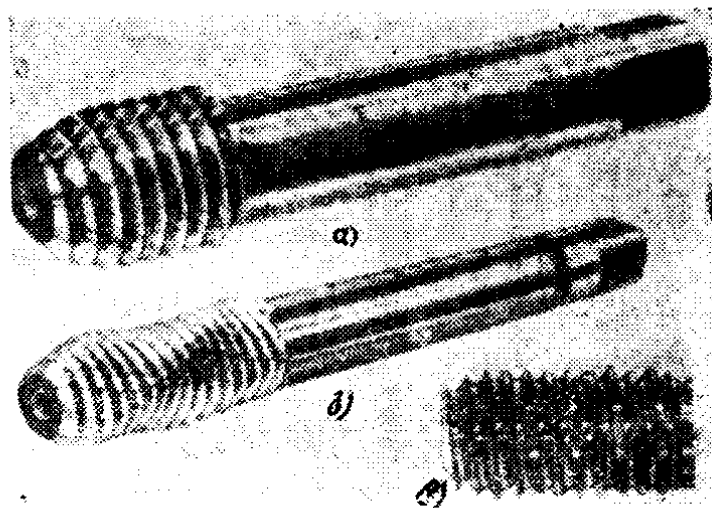


图6 挤压丝锥棱脊的分布

a—直线分布；b—螺旋分布；c—交错分布。

面上的锥体与圆柱体之间的夹角。

表面。原始表面（图7）——在挤压过程中将要形成螺纹牙形的表面。

变形表面——直接与丝锥挤压锥部棱脊接触的原始表面部分。成形表面——螺纹牙形塑变完成后所得到的螺纹孔表面。

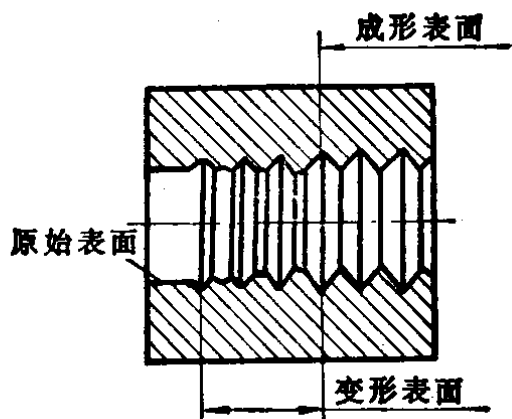


图7 螺纹挤压过程表面的确定

二、挤压丝锥横截面的形成

在选择挤压丝锥横截面的最佳参数及分析变形区所发生的现象时，必须知道与工件材料直接接触的丝锥棱脊部分的实际几何形状。在大多数情况下，往往不是对棱脊的几何形状进行最优化，而是对丝锥侧面（非工作面）中点的螺纹牙

形铲背量进行最优化。但是棱脊的几何形状不仅与铲背量和铲磨凸轮的形状有关，而且也与机床的铲磨系统和对丝锥工作部分横截面外形进行最后磨削的砂轮半径 $R_{\text{m.x}}$ 有关。假若不给出制造的具体条件或不标明其工作形状的尺寸，只靠铲背量 K 的最佳值是不能保证棱脊的最佳几何形状的，因它不能单独地表示棱脊的几何形状。文献中所介绍的求铲磨后截面外形的方程都是近似的，因为，方程建立的条件不是用砂轮而是用质点来加工丝锥：

$$\rho_i = \frac{d_n}{2} - \frac{K_n}{\pi} \theta \quad (1)$$

$$\rho_i = \frac{d_n}{2} - \frac{K}{2} + \frac{K}{2} \cos n\theta - \frac{K_e}{8r} + \frac{K_e}{8r} \cos 2n\theta \quad (2)$$

$$\rho_i = \frac{d_n}{2} \left[1 - \varepsilon_n \sin^2 \left(n \frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (3)$$

式中

ρ_i ——向径；

θ ——极角；

e 和 r ——铲磨凸轮的偏心率和半径；

ε_n ——截面形状的非圆度系数；

n ——棱数。

为了求出用偏心轮做铲磨凸轮在 5822 型螺纹磨床上所加工的丝锥横截面外形，在此列出计入了砂轮半径的方程式：

$$\rho_i = R_{\text{m.x.}} + R_n - K + \frac{K}{2} (1 - \cos n \varphi) \quad (4)$$

由方程式 (4) 可以看出无论铲背量 K 值如何，相应于丝锥旋转角为 $\varphi = \pi/n$ 的点，即位于棱脊各点上的向径 ρ_i 总是等于 $R_{\text{m.x.}} + R_n$ 的和。可是，铲背量增大到一定值就会

导致毛坯棱脊被切削，也就是说会减小外径。但是这仅在 $\rho_i < R_{\text{m.r.}} + R_{\text{r.}}$ 时才有可能，这样得出的实际外形与方程式 (4) 不符合。其理由是，按照方程 (4)，砂轮与毛坯的切点总是位于圆心的连线上。但是，实际上只有当 $\varphi = \pi/n$ 和 $\varphi = \pi/2n$ 时，即在加工棱脊和侧面中点时才出现这种情况，而在其它部位，切点则总是高于或低于中心连线。因而，在求丝锥横截面的外形时不能用方程式 (4)。

为了实用目的，必须有考虑了加工挤压丝锥横截面外形的实际传动系统的参数方程，据此，对于给定的加工条件（铲磨凸轮的形状，机床型号，砂轮半径 $R_{\text{m.r.}}$ ）可事先求出截面的实际外形；或者反之，根据给定的丝锥外形、机床和砂轮半径算出所必需的铲磨凸轮。

在转向丝锥横截面形状的运动学分析之前，先讲述一下对其所提出的基本结构和工艺要求。很明显，截面形状应确保在被加工材料最好的塑性变形，也就是最小变形单位功的条件下，被加工螺纹表面的质量高、精度高。并且，要保证有可能用连续磨削的方法加工截面外形。为了改善在扭转条件下丝锥的工作，外形曲线应具有同向的曲率，即没有凹部。同时，这样也能用任意直径的砂轮磨削丝锥。在选择外形曲线时还应考虑一个要求，就是要有可能采用检验圆轴的量具来检验丝锥截面。

为了研究丝锥横截面的主要几何性质，我们来探讨在选定砂轮运动规律的基础上求外形曲线方程的问题。

用包络线法导出丝锥横截面的参数方程

通常，在螺纹磨床上用适当调整铲磨挂轮和铲磨机构的办法对挤压丝锥的外径、中径和内径进行最后铲磨。对于各

种型号的机床，调整铲磨挂轮的计算转数都是一样的，并由丝锥棱数 n 所决定：毛坯转一转，凸轮转 n 转。但是在各种机床上的铲磨运动是不一样的。

在 Линдер 和 Экселло 公司的机床上，支撑轴 4 上的工作台 1 由于铲磨凸轮 5 的旋转，而使丝锥毛坯 2 得到附加的位移，从而对丝锥进行铲磨（图 8 a），在铲磨过程中砂轮架 3 固定不动。在 5582 型和 5810 型机床上用凸轮 4（图 8 б）来摆动砂轮架 3。用砂轮 2 与砂轮架 3 一起绕固定轴 5 摆动的方法来保证对毛坯 1 进行铲磨。在 5820, 5821, 5822, 5822M 型螺纹磨床上由砂轮架 1 沿摆动导板 3 作往返直线位移（图 8 в）进行铲磨。由铲磨凸轮 4 实现进送直线位移，而返回位移则靠一端固定在砂轮架上，而另一端固定在床身上的弹簧 2 的力量。在 Экселло 公司的有些机床上只有砂轮架的轴承套（与砂轮一起）是摆动部分（图 8 г），砂轮轴承套 4 依靠凸轮 3 实现摆动位移，弹簧 1 将轴承套压紧在凸轮上，而砂轮架 2 在铲磨时是静止状态。在 Вебер 公司出产的机床上，靠摆动床尾顶尖的方法进行铲磨（图 8 д），床尾轴 1 具有能摆动的球形支承。滑块 2 在齿轮 4 内沿着专门的导轨与球面垫圈 3 一起移动。球面垫圈在偏心的作用下作曲线运动，偏心率已是考虑到力臂 m 和 n 的比例关系所给定的，以保证顶尖和毛坯的位移。在 MB13 型机床上，摆动位移传给在棱形支撑 2 上的床尾（图 8 e）顶尖 1，用弹簧 4 将滑块 3 压在凸轮上。

铲磨时沿支撑轴 5 摆动砂轮（图 8 б），使其与零件的接触点高于和低于零件的中心线。按图 8 e 系统图进行铲背时，由于在铲背过程中砂轮架的往返直线运动，砂轮准确地在零

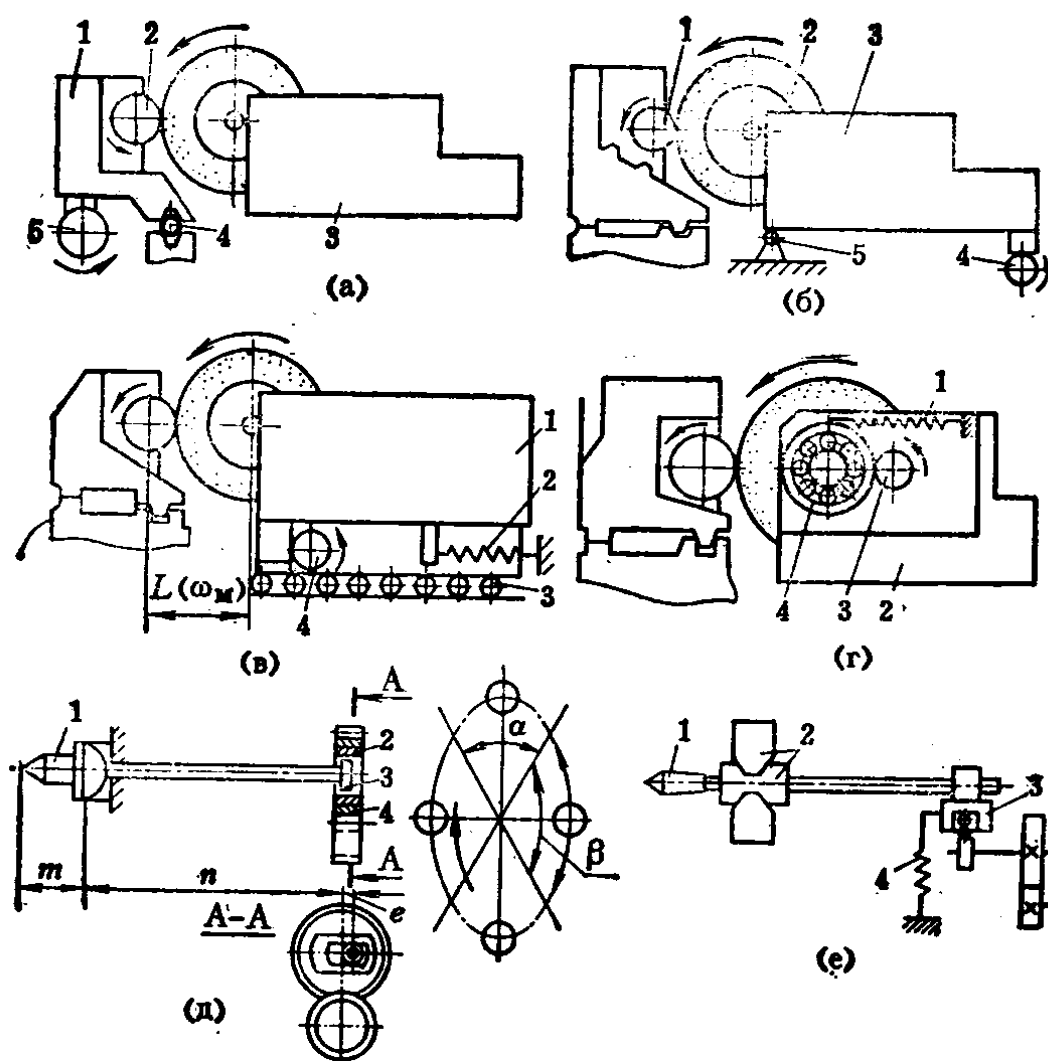


图8 螺纹磨床铲磨时的运动系统图

件的轴平面上移动。所以，由于铲背时的运动系统图各不相同，尽管用同样的凸轮确保铲背量相同，和在砂轮半径固定的情况下，丝锥横截面的几何形状仍将是不同的。在这样的情况下，在具有不同铲背系统的机床上所加工的丝锥横截面的实际几何形状，可用根据对丝锥工作部分进行铲背过程中，丝锥毛坯和砂轮相对运动的研究所推导出来的相应方程式加以表述。

为了求得丝锥横截面外形曲线的方程，通常采用包络线

法。砂轮和丝锥毛坯中心距的变化规律对于所有系统均可写成:

$$L = \varphi(\omega_m)$$

式中 ω_m ——丝锥毛坯的旋转角。

设毛坯的中心线与 X_1OY_1 固定坐标系的原点 O 相重合 (图 9)。

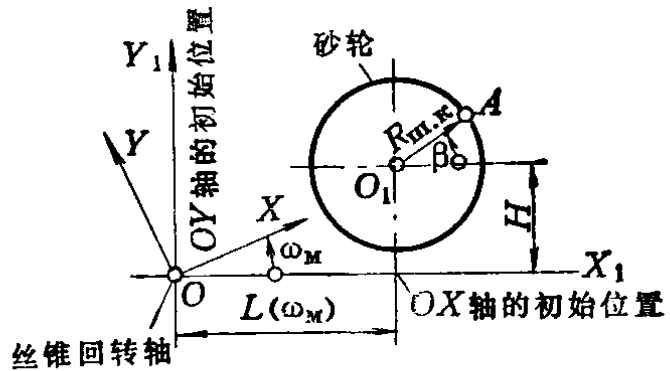


图 9 挤压丝锥横截面外形的计算图

位于上述系统中任意放置的砂轮中心坐标等于

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= L(\omega_m) \\ y_1 &= H \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

在同一坐标系中, 位于砂轮边缘上的 A 点的坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= R_{m,k} \cos \beta + L(\omega_m) \\ y_1 &= R_{m,k} \sin \beta + H \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

在与丝锥毛坯的旋转成刚性连接的 XOY 坐标系中, A 点的坐标为:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_{m,k} \cos(\beta - \omega_m) + L(\omega_m) \cos \omega_m + H \sin \omega_m \\ y &= R_{m,k} \sin(\beta - \omega_m) - L(\omega_m) \sin \omega_m + H \cos \omega_m \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

在用参数方程 $X = x(\omega_m, \beta)$, $Y = y(\omega_m, \beta)$ 来表述曲线族时, β 由曲线族中析出某一曲线, 而 ω_m 析出曲线上的某一点, 这些固定点的 x , y 坐标可由下述方程组求出:

$$X = x(\omega_m, \beta)$$

$$Y = y(\omega_m, \beta)$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \beta} & \frac{\partial y}{\partial \beta} \\ \frac{\partial x}{\partial \omega_{\text{н}}} & \frac{\partial y}{\partial \omega_{\text{н}}} \end{vmatrix} = 0 \quad (8)$$

由等式 (8), 必须用另一个参数 ($\omega_{\text{н}}$) 表示参数 (β), 首先求导数值:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \beta} &= -R_{\text{м.к}} \sin(\beta - \omega_{\text{н}}) \\ \frac{\partial y}{\partial \beta} &= R_{\text{м.к}} \cos(\beta - \omega_{\text{н}}) \\ \frac{\partial x}{\partial \omega_{\text{н}}} &= R_{\text{м.к}}(\beta - \omega_{\text{н}}) + \frac{\partial L}{\partial \omega_{\text{н}}} \cos \omega_{\text{н}} \\ &\quad - L(\omega_{\text{н}}) \sin \omega_{\text{н}} + H \cos \omega_{\text{н}} \\ \frac{\partial y}{\partial \omega_{\text{н}}} &= -R_{\text{м.к}} \cos(\beta - \omega_{\text{н}}) - \frac{\partial L}{\partial \omega_{\text{н}}} \sin \omega_{\text{н}} \\ &\quad - L(\omega_{\text{н}}) \cos \omega_{\text{н}} - H \sin \omega_{\text{н}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

将导数值代入式 (8), 得

$$\left(\frac{\partial L}{\partial \omega_{\text{н}}} - H \right) \cos \beta - L(\omega_{\text{н}}) \sin \beta = 0$$

故

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{\partial L}{\partial \omega_{\text{н}}} - H}{L(\omega_{\text{н}})}$$

或

$$\left. \begin{aligned} x &= R_{\text{м.к}} \cos(\beta - \omega_{\text{н}}) + L(\omega_{\text{н}}) \cos \omega_{\text{н}} + H \sin \omega_{\text{н}} \\ y &= R_{\text{м.к}} \sin(\beta - \omega_{\text{н}}) - L(\omega_{\text{н}}) \sin \omega_{\text{н}} + H \cos \omega_{\text{н}} \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{\frac{\partial L}{\partial \omega_{\text{н}}} - H}{L(\omega_{\text{н}})} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

可见，方程式 (10) 是丝锥横截面外形曲线的参数方程。分析此方程可以看出，丝锥的截面形状取决于砂轮和丝锥的中心距 $L(\omega_s)$ 的变化规律以及砂轮的半径 ($R_{w.s}$)。因此，在每种具体的情况下，如果已知 $L(\omega_s)$ ，即可求出丝锥横截面外形曲线的实际方程。

当砂轮作往复直线运动对丝锥进行铲磨时，丝锥横截面外形曲线方程的推导

在工具生产中最广泛采用的螺纹磨床，其铲磨运动是由砂轮的往复直线位移实现的(5822, 5822M 磨床)。在大多数情况下制造挤压丝锥也是采用这些机床，因其不仅加工范围相当宽 ($\varphi \approx 18^\circ$)，而且能确保挤压锥的高精度和高生产率。因此，我们详细地分析在上述型号的机床上，即砂轮随砂轮架一起在垂直于丝锥毛坯中心线的方向上沿着导轨移动的方法所加工的丝锥截面形状。其铲磨动作如下：在可换铲磨凸轮 9 旋转时（图 10）通过

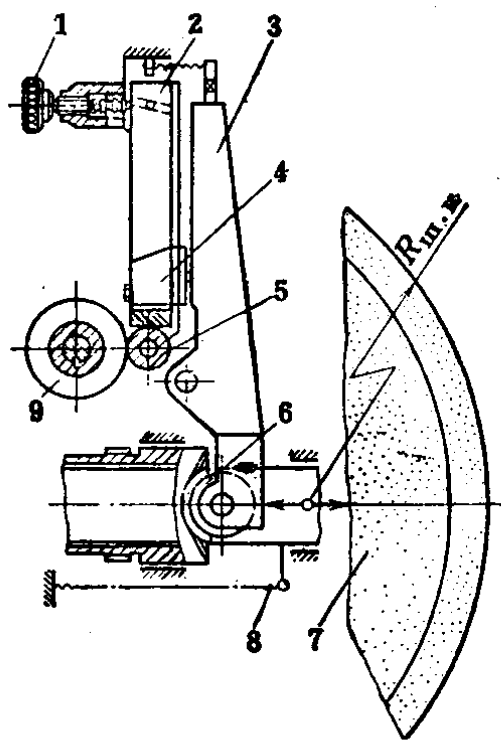


图10 5822型螺纹磨床的铲磨机构

通过在轴上自由旋转的滚轮 5 使杠杆 2 转动，杠杆 2 的一端支撑在顶丝 1 上。杠杆 2 通过滑块 4 的档块与移动砂轮架的杠杆 3 相连接，通过滚轮 6 作用于将运动传给砂轮 7 的端面凸轮。用弹簧 8 使砂轮架返回。