

文章编号 :1009-038X(2000)02-0192-04

薄管螺旋槽成形加工旋压力计算方法^①

樊荣珍, 杨裕国

(无锡轻工大学机械工程系, 江苏无锡 214036)

摘要 :研究了薄壁圆管螺旋槽旋压成形时力的计算方法,可为设计旋压成形设备、编制旋压工艺、设计旋压工夹具提供理论依据.采用自行设计的旋压部件,并测量旋轮承受的三向力,可以得出影响旋压力的主要因素,进行了正交回归试验,得出了槽深、壁厚与三向力的回归方程.

关键词 :螺旋槽管;旋压;计算方法

中图分类号 :TH123.4 **文献标识码** :A

Calculating Method for the Spiral-Fluted Tube's Spinning Force

FAN Rong-zhen, YANG Yu-guo

(Department of Mechanical Engineering, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract : This paper studied the calculating method of the spiral-fluted tube's spinning force, which can provide basic theory for designing spinning shaping equipment, establishing spinning shaping technology and designing spinning tools. Using a set of spinning components are designed and measuring three-dimensional forces, it can conclude main factors influencing the spinning force. Through the regression experiment between groove depth, wall thickness and spinning, three equations are obtained.

Key words : spiral fluted tube; spin; calculating method

薄壁圆管螺旋槽是在光管上加工出管外凹入、管内凸出的具有强化传热效率的连续螺纹,其主要结构参数有管径(d)、螺距(p)和槽深(h),见图 1.

近年来,薄管螺旋槽已开始应用于动力、石油、化工、食品、低品位余热回收等行业的换热设备上.

螺旋槽的旋压成形,是在外力作用下的旋、挤、拉伸成形,变形机理复杂,用试验来找出各工艺参数与旋压力的关系,是为以后进行塑性力学分析提供理论依据.本次试验是在普通车床上进行的.管前端用三爪卡盘夹紧,尾部用活动顶尖顶住并采用跟刀架支撑圆管后部与上部,以减小圆管的弯曲变

形,采用车削用的测力仪,把车床的车刀换成旋轮,这样就可进行旋压试验.其结构草图和受力分析如图 2 所示.

旋压时,圆管与旋轮之间存在着一对大小相等、方向相反的力:圆管的旋压力 P' (或称成形阻力)和旋轮受力 P . P 可分解为相互垂直的 3 个分力: P_x 、 P_y 、 P_z ,且有

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \tag{1}$$

式中, P_x 、 P_y 、 P_z 分别为旋轮承受的轴向、径向和切向分力. P_x 为与旋轮进给的方向相反且平行于

① 收稿日期:1999-07-01;修订日期:1999-12-06.
作者简介:樊荣珍(1974 年 11 月生),男,山西临县人,工学硕士.
万方数据

工作旋转轴线的作用力 P_y 为沿被加工工件半径且垂直于工件旋转轴线的作用力 P_z 为与被成形表面相切且在工件转速的矢量方向上的作用力。

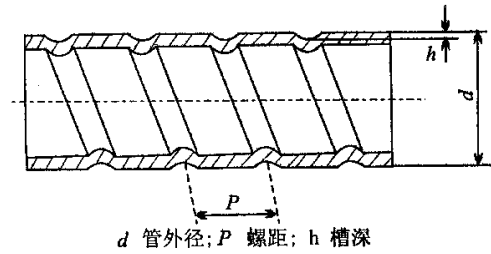
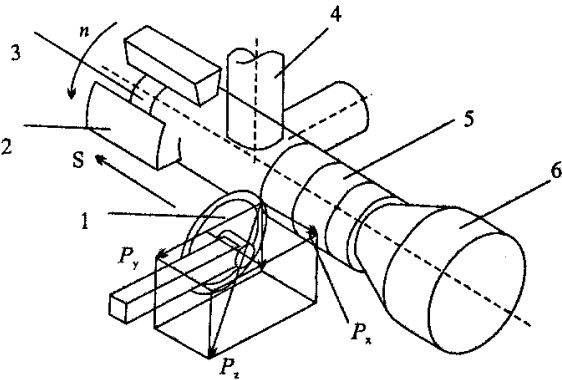


图 1 螺旋槽管
Fig.1 Spiral fluted tube



1 旋轮;2 三爪卡盘;3 芯模;4 跟刀架;5 圆管;6 活动顶尖
 n 机床主轴转速(r/min); S 进给方向; P_x, P_y, P_z 旋轮承受的轴向、径向、切向压力

图 2 旋压设备和受力分析图

Fig.2 Spining equipment and suffering force analyse figure

1 回归方程的建立

据文献 [1] 影响旋压力的主要因素有：金属的机械性能 (σ_b) 、管径 (d) 、管壁厚 (δ) 、槽深 (h) 、导程 (p) 、旋轮圆角半径 (r) 和主轴转速 (n) ，即旋压力可用下式表示：

$$P=f(\sigma_b, d, \delta, h, p, r, n) \tag{2}$$

试验表明，径向旋压力 P_y 远大于垂直旋压力 P_z 和轴向旋压力 P_x 。 P_x, P_y, P_z 与各因素的关系类似，其变化趋势相同，因此重点介绍如何获得径向力 P_y 与各工艺因素关系数据的回归方法。同理可得 $P_x、P_z$ 与各工艺因素的关系。

试验还表明^[2,3]，影响旋压力的主要因素是壁厚 δ 和槽深 h ，所以求回归方程忽略其它因素对旋压力的影响，只考虑壁厚和槽深两个因素。假设 P_x, P_y, P_z 与 δ, h 成如下关系：

万方数据
$$P_x = C_x \delta^{M_x} h^{N_x}$$

$$P_y = C_y \delta^{M_y} h^{N_y}$$
$$P_z = C_z \delta^{M_z} h^{N_z}$$

试验中材料为不锈钢管，直径 $d=25\text{ mm}$ ，导程 $p=10\text{ mm}$ ，旋轮圆角半径 $r=1.5\text{ mm}$ ，转速 $n=16\text{ r/min}$ 。壁厚的三水平分别为：0.6 mm、0.8 mm、1.0 mm，槽深的三水平分别为：1.0 mm、2.0 mm、3.0 mm。按正交表 $L_9(3^4)$ 安排试验，但要对原方程进行适当处理，下面以 P_y 的回归为例，介绍 P_x, P_y, P_z 的回归过程。

对于 P_y 的方程 $P_y = C_y \delta^{M_y} h^{N_y}$ ，两边取对数得 $\lg P_y = \lg C_y + M_y \lg \delta + N_y \lg h$ 。

为了简化计算，可作坐标变换，即进行编码，设

$$x_1 = \frac{\chi \lg \delta - \lg 1.0}{\lg 1.0 - \lg 0.6} + 1$$

当 $\delta=1.0$ 时 $x_1=1$ ；当 $\delta=0.6$ 时 $x_1=-1$ ；当 $x_1=0$ 时，计算得 $\delta \approx 0.775$ 。又设

$$x_2 = \frac{\chi \lg h - \lg 3.0}{\lg 3.0 - \lg 1.0} + 1$$

当 $h=3.0$ 时 $x_2=1$ ；当 $h=1.0$ 时 $x_2=-1$ ；当 $x_2=0$ 时，计算得 $h \approx 1.732$ 。

利用编码公式，原方程变为 $y' = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ 。式中，设 $y' = \lg P_y$ ；且由于 $x_1 \neq \delta, x_2 \neq h$ ，所以 b_0, b_1, b_2 分别不等于 $\lg C_y, M_y, N_y$ 。其中 b_0, b_1, b_2 为待求的系数。

试验结果及数据处理^[4,5]见表 1。可知

$l_{11}=l_{22}=6, l_{ij}=0(i \neq j), l_{1y}'=1.460, l_{2y}'=0.74$ 。所以正规方程组为

$$\begin{cases} 6 \times b_1 = 1.460 \\ 6 \times b_2 = 0.74 \end{cases}$$

解得 $b_1=0.243, b_2=0.123, b_0=\bar{y}'=17.577/9=1.953$ 。所以回归方程为

$$\hat{y}' = 1.953 + 0.243x_1 + 0.123x_2$$

所以
$$\lg P_y = 1.953 + 0.243 \left(\frac{\chi \lg \delta - \lg 1.0}{\lg 1.0 - \lg 0.6} + 1 \right) + 0.123 \left(\frac{\chi \lg h - \lg 3.0}{\lg 3.0 - \lg 1.0} + 1 \right) = 2.073 + 2.191 \times \lg \delta + 0.516 \times \lg h$$
$$P_y = 118.304 \delta^{2.191} h^{0.516} \tag{3}$$

检验显著性：

$$l_{y'y'} = 34.844 - 9 \times 1.953^2 = 0.516,$$
$$U = b_1 \times l_{1y'} + b_2 \times l_{2y'} = 2.243 \times 1.460 + 0.123 \times 0.74 = 0.446,$$

$$R = \sqrt{\frac{U}{l_{y'y'}}} = \sqrt{\frac{0.446}{0.516}} = 0.930.$$

对 $\alpha=0.05, N_1=2, N_2=6$,查 F 分布表得 $F_\alpha=5.14$,所以

$$R_\alpha=\sqrt{\frac{mF_\alpha}{n-m-1+mF_\alpha}}=\sqrt{\frac{2\times 5.14}{6+2\times 5.14}}=0.795$$

因为 $R>R_q$,所以回归效果显著.

用同样的方法 ,回归得其它两个方向的旋压力分别为 :

轴向旋压力 $P_x=19.231\delta^{2.101}h^{0.574}$ (4)

垂向旋压力 $P_z=84.528\delta^{2.082}h^{0.285}$ (5)

表 1 P_y 回归测定数据与处理结果

Tab.1 P_y regression measuring data and handling results

试验号	$x_1(\delta)$	$x_2(h)$	信号高度/mm	P_y/kg	$y'=1g\ P_y$	x_1y'	x_2y'	y'^2
1	-1	-1	15.0	31.695	1.501	-1.501	-1.501	2.253
2	-1	0	21.5	45.430	1.657	-1.657	0	2.746
3	-1	1	29.0	61.277	1.787	-1.787	1.787	3.193
4	0	-1	43.0	90.859	1.958	0	-1.958	3.384
5	0	0	57.0	120.441	2.081	0	0	4.331
6	0	1	73.0	154.249	2.188	0	2.188	4.787
7	1	-1	49.0	103.537	2.015	2.015	-2.015	4.060
8	1	0	67.0	141.571	2.151	2.151	0	4.627
9	1	1	82.0	173.266	2.239	2.239	2.239	5.013
Σ				922.325	17.577	1.460	0.74	34.844

注 :信号高度是指函数记录仪在坐标纸上标出的高度(mm).

2 弯矩、扭矩和功率的计算

已知分力 P_x, P_y 和 P_z ,则易求出在不同方式旋压时的弯矩、扭矩和功率.在被加工工件的变形源上 ,作用着 P'_x, P'_y, P'_z 力 ,其大小与 P_x, P_y, P_z 力相等而方向相反(见图 3).

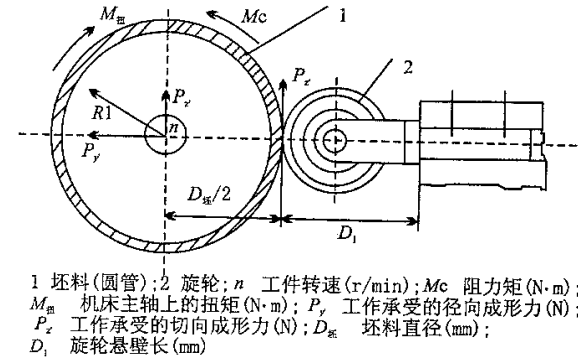


图 3 作用在工件和旋轮上的力和力矩
Fig.3 Acting force and moment on parts and spinning wheel
将两个大小相等、方向相反的力 P'_z 移到工件的中心 ,便获得一对力 ,从而建立旋转运动的阻力矩.

$$M_c=P_z'D_{坯}/2$$
 (6)

此外 , P'_x 力与 P'_y 力将使工件产生弯曲 ,总弯

曲力 R_1 可由下式求得 :

$$R_1=\sqrt{P'^2_z+P'^2_y}.$$

P'_x 力使工件压向机床的床头箱 ,并产生弯曲力矩.

$$M_{弯P_x}=P'_xD_{坯}/2$$

为使旋压过程得以进行 ,必须在工件的旋转方向施加扭矩 $M_{扭}$,其值应大于阻力 M_c ,或者在极端情况下等于 M_c . $M_{扭}\geq M_c$.

$M_{扭}$ 也可用旋压时所消耗的功率(有效功率)来计算 :

$$M_{扭}=9\ 549N_{旋}/n$$
 (7)

式中 , $M_{扭}$ 为机床主轴的扭矩($\text{N}\cdot\text{m}$); $N_{旋}$ 为机床主轴的旋压功率(kW); n 为工件的转速(r/min).

$N_{旋}$ 可用克服 P_x, P_y, P_z 力所需功率之和求得.

$$N_{旋}=N_{P_x}+N_{P_y}+N_{P_z}$$
 (8)

$$N_{P_x}=\frac{P_xV_x}{60\times 1\ 000},$$

$$N_{P_y}=\frac{P_yV_y}{60\times 1\ 000},$$

$$N_{P_z}=\frac{P_zV_z}{60\times 1\ 000}.$$

式中 : $V_x=S_{纵}\cdot n$,为纵向移动速度(mm/min); $V_y=S_{横}\cdot n$,为横向移动速度(mm/min); $V_z=\pi D_{坯}n/$

1 000 ,为在变形源上的工件旋转速度($\mu\text{m}/\text{min}$);
 $D_{\text{坯}}$ 为坯料直径(mm).

对旋压过程必须计算的机床电机的功率 ,可以下式求 :

$$N_{\text{电机}} = N_{\text{旋}} / \eta .$$

式中 : $N_{\text{电机}}$ ——电机功率 ; η ——机床的传动效率 ,
 $\eta = 0.8 \sim 0.85$.

3 结 论

1) 初步分析了薄壁圆管螺旋槽旋压成形时的旋压力与各工艺因素的关系 ,得知径向旋压力明显

大于其它两个方向的力 ,是主要的成形阻力 ;
2) 经过回归分析 ,导出了薄壁圆管螺旋槽旋压成形时各个方向的力与壁厚(δ)、槽深(h)的计算方程 :

$$P_x = 19.231 \delta^{2.101} h^{1.574} ,$$
$$P_y = 118.304 \delta^{2.191} h^{0.516} ,$$
$$P_z = 84.528 \delta^{2.082} h^{0.285} .$$

3) 文中介绍的旋压力计算方程及旋压力与各工艺因素的关系 ,可用于设计旋压成形设备或工夹具.

参考文献

[1] 李良福. 旋压拉深工艺研究 [J]. 五金科技 ,1995(2):13~17
[2] 樊荣珍, 杨裕国. 薄壁圆管螺旋槽旋压成形工艺研究 [J]. 五金科技 ,1999(2):13~15
[3] 樊荣珍, 杨裕国, 李良福. 薄壁管螺旋槽的旋压工艺研究 [J]. 金属成形工艺 ,1999(1):17~19
[4] 项可风, 吴启光. 试验设计与数据分析 [M]. 上海 :上海科学技术出版社 ,1989.
[5] 汤勇, 张发英. 挤压 - 犁削处翅片铜管加工机理的研究 [J]. 工具技术 ,1997(1):7~10

(责任编辑 :秦和平)