

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.06.009

螺旋槽丝锥几何参数对切削力的影响

虞涛, 黄立新

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:螺旋槽丝锥结构复杂, 刀具寿命较短, 为了研究螺旋槽丝锥的切削性能, 对螺旋槽丝锥进行受力分析, 建立丝锥的力学模型。用 SolidWorks 建立螺旋槽丝锥的三维模型, 用仿真软件 AdvantEdge FEM 模拟螺旋槽丝锥攻丝过程; 采用正交试验法分析 HSS-Co-PM ASP2030 高速钢螺旋槽丝锥加工 AISI-4/30 合金结构钢时的切削性能; 利用极差分析法研究螺旋槽丝锥几何参数端面前角 γ_p 、切削锥角 κ_r 、沟槽螺旋角 ω 对切削力的影响。试验结果表明: 沟槽螺旋角对切削力的影响最大, 其次是端面前角和切削锥角。螺旋槽丝锥加工合金结构钢取沟槽螺旋角 35° , 切削锥角 12° , 端面前角 2° 时切削力最小, 能有效提高刀具寿命。

关键词:螺旋槽丝锥; 正交实验; 沟槽螺旋角; 切削力

中图分类号: TH1622 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2016)06-0042-04

Effect of Geometric Parameters of Spiral Fluted Tap on Cutting Force

YU Tao, HUANG Lixin

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Spiral fluted tap's structure is complex, and the tool life is short. In order to analyze the cutting of spiral fluted tap, the mechanical model was built by analyzing the force of spiral fluted tap. The three-dimensional model of the spiral fluted tap was established by SolidWorks. The tapping process of spiral fluted tap was simulated by AdvantEdge FEM. Alloy structural steel AISI-4/30 was tapped with the HSS-Co-PM ASP2030 by the orthogonal test method. The impact of the end face rack angle, the chamfer angle and the spiral flute angle on cutting force were studied by extreme difference analysis. The results indicate that the influence of spiral flute angle is the maximum, and the chamfer angle is the smallest. The optimal geometric parameters are that, the spiral flute angle is 35° , and the chamfer angle is 12° , and the end face rack angle is 2° .

Key words: spiral fluted tap; orthogonal test method; spiral flute angle; cutting force

丝锥是加工内螺纹的常用刀具, 螺旋槽丝锥对于韧性和延展性好的加工材料具有较好的切削性能。螺旋槽丝锥结构复杂, 设计困难。国内对于螺旋槽丝锥的设计主要有: 杨林建等^[1]对国外进口丝锥的材料、表面处理等进行分析研究, 研制出耐用度达进口丝锥 85% 以上的螺旋槽丝锥; 韩荣第等^[2]通过对螺旋槽丝锥的几何参数进行优化设计, 得到加工不锈钢 1Cr18Ni9Ti 的最佳丝锥结构; 王延辰等^[3]从丝锥的深冷处理和刃口钝化等新制造工艺方面研究丝锥的切削性能。国外对螺旋槽丝锥的研究有: Piska^[4]研究不同

涂层高速钢丝锥在攻丝过程中丝锥的表面形态和切削性能; Steinger^[5]对螺旋槽丝锥加工铝合金的攻丝过程进行分析, 得到了有利于切屑排出的丝锥结构和涂层。设计螺旋槽丝锥时, 对于不同材料的工件, 丝锥的最佳几何参数也不同, 需要分析螺旋槽丝锥几何参数对切削的影响。采用正交实验法分析螺旋槽丝锥的端面前角 γ_p 、沟槽螺旋角 ω 和切削锥角 κ_r 对切削力的影响, 找出影响切削力的主要因素和次要因素, 确定几何参数的最优组合。

收稿日期: 2016-06-16; 修回日期: 2016-07-15

基金项目: 上海市科技成果转化促进会《助推计划》项目(12ZT09)。

作者简介: 虞涛(1992), 男, 江苏常州人, 硕士研究生, 主要研究方向为高速切削技术。通信作者: 黄立新(1963), 女, 江苏南通人, 教授, 主要研究方向为高速切削。E-mail: 1140337253@qq.com

1 螺旋槽丝锥的受力分析

取丝锥的任意一个刀齿为研究对象,分析刀齿与工件之间的相互作用。把分布在刀齿上的力简化为集中力,刀齿所受的力为总切削力 F ,总切削力 F 可以分解为主切削力 F_c 、径向分力 F_p 和轴向分力 F_t ;刀齿两侧及顶部后刀面与工件之间存在正压力 N 和摩擦力 f ,刀齿受力分析如图 1 所示。

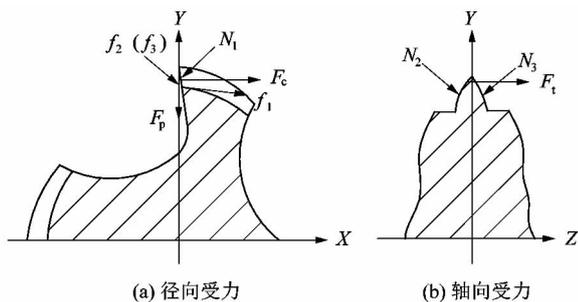


图 1 丝锥受力分析

Figure 1 Force analysis of tap

丝锥攻丝时,每个刀齿相当于一把槽型车刀,槽型车刀切削力实验表明,刀齿两侧及顶部后刀面受到摩擦力时,主切削力增加 20% ~ 30%。主切削力起主要的切削作用,每齿的主切削力 F_c [6] 为

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad (1)$$

式中: k_c 为单位面积切削力; A_D 为切削面积。

根据工件材料的不同,丝锥单位面积切削力 [7]

$$k_c = A \left(\frac{\delta^2 - 2\delta \sin \gamma + 1}{\delta \cos \gamma} \right)^n \left(\frac{\delta - \sin \gamma}{\cos \gamma} + \tan \Psi \right) \quad (2)$$

其中 $\gamma = \gamma_p \cos \kappa_r + \omega \sin \kappa_r$ 。 (3)

式中: A 为剪切屈服强度系数; n 为材料强化系数; Ψ 为剪切平面与切削合力间的夹角; δ 为变形系数; γ 为刀具实际工作前角; γ_p 为刀具端面前角; ω 为沟槽螺旋角; κ_r 为切削锥角。

设螺旋槽丝锥的槽数为 T ,螺距为 p ,普通螺纹基本牙型。丝锥攻丝过程中,刀具前进一个螺距,后刀齿到达前刀齿的位置并切下一部分材料,各刀齿同时进行切削。刀齿的切削示意图如图 2 所示。每个刀齿的切削厚度

$$a = \frac{p}{N} \sin \kappa_r \quad (4)$$

丝锥每齿的切削厚度 a 一般为 0.02 ~ 0.20 mm,把切削面积近似看成是一个矩形,各齿的切削宽度为 a_w ,则切削面积

$$A = a \cdot a_w \quad (5)$$

如图 2 所示,在丝锥不断旋进过程中, $a_{w1} > a_{w2} >$

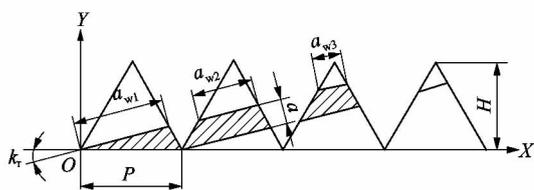


图 2 丝锥攻丝示意图

Figure 2 Schematic diagram of taps tapping presentation

a_{w3}, \dots ,当丝锥完全切入时,丝锥的总的切削宽度

$$\sum a_w = a_{w1} + a_{w2} + a_{w3} + \dots = \frac{H}{2 \sin \kappa_r} \quad (6)$$

所以丝锥总的切削面积

$$\sum A = \sum (a \cdot a_w) \leq \frac{H}{2p} \quad (7)$$

根据主切削力的计算公式可以发现:①丝锥单位面积的切削力与丝锥的实际工作前角有关,而丝锥的实际工作前角与几何参数端面前角、沟槽螺旋角和切削锥角有关。②切削锥角 κ_r 影响刀齿的每齿切削厚度,每齿切削厚度决定了刀齿的切削力以及表面加工质量。③当丝锥切削部分完全切入时,切削锥角对总的切削面积没影响。

2 螺旋槽丝锥的切削试验

2.1 丝锥仿真加工

利用 SolidWorks 对螺旋槽丝锥的切削部分进行三维建模,完成丝锥端面前角 γ_p ,切削锥角 κ_r 和沟槽螺旋角 ω 的设计。建立 M6 右旋螺纹右螺旋槽丝锥的三维模型 [8],如图 3 所示。

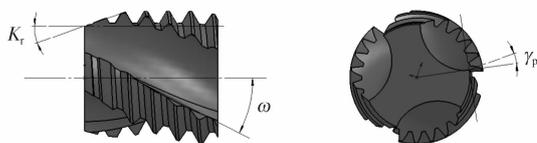


图 3 螺旋槽丝锥三维模型

Figure 3 Three-dimensional model of spiral fluted tap

将三维模型导入到 AdvantEdge FEM 软件 [9] 中,工件材料选用 AISI-4130 合金结构钢(硬度 ≤ 229 HB),具有很高的淬硬性。丝锥材料选用 HSS-Co-PM ASP2030 含钴高速钢(硬度为 300 HB)。钴能促使碳化物在淬火加热时更多地溶解在基体内,利用高的基体硬度来提高耐磨性,所以这种高速钢具有较高的硬度和较好的热硬性、耐磨性及可磨性。丝锥和工件材

料的化学成分如表 1 和表 2 所示。工件尺寸为(长 × 宽 × 高为 12 mm × 12 mm × 5 mm),底孔直径 5.2 mm。仿真加工时,工件固定,丝锥以 420 r/min 的转速沿 Z 轴负方向加工。高速钢螺旋槽丝锥攻合金结构钢的物理建模如图 4 所示。

表 1 刀具材料化学成分

Table 1 Tool material						%
C(碳)	Cr(铬)	Mo(钼)	W(钨)	Co(钴)	V(钒)	
1.28	4.20	5.00	6.40	8.50	3.10	

表 2 工件材料化学成分

Table 2 Chemical component workpiece material								%
C(碳)	Cr(铬)	Mo(钼)	Si(硅)	P(磷)	S(硫)	Ni(镍)	Cu(铜)	
0.260 ~ 0.340	0.800 ~ 1.100	0.150 ~ 0.250	0.200 ~ 0.400	≤0.035	≤0.035	≤0.030	≤0.030	

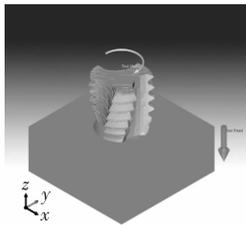


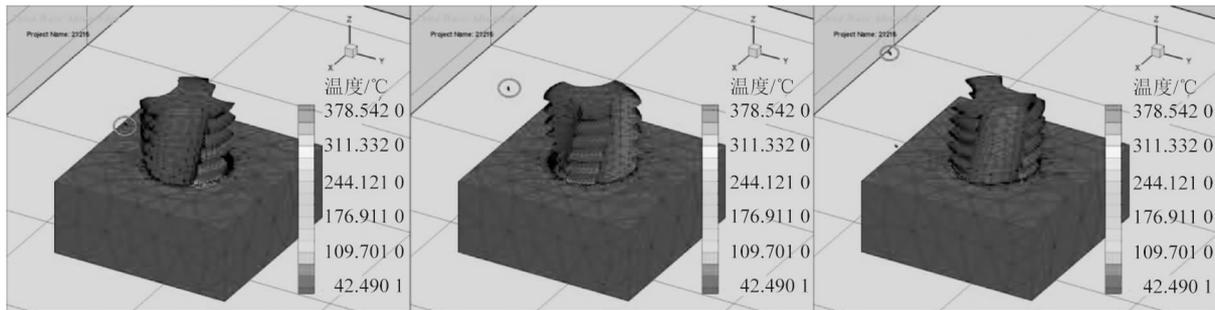
图 4 攻丝物理建模

Figure 4 Physical model of tapping

仿真试验采用的右旋螺纹右螺旋槽丝锥,由于螺旋槽对切屑的反作用力,切屑从螺旋槽丝锥的后方排出。仿真试验中切屑的运动(圆圈中所示)与理论一致,见图 5。

2.2 攻丝试验方案的设计

影响螺旋槽丝锥切削力的主要因素有端面前角 γ_p , 切削锥角 κ_r 和沟槽螺旋角 ω , 为了提高试验效率, 采用正交试验的方法。通过正交试验分析^[10] 影响丝



(a) 0.3 s 切屑的位置

(b) 0.4 s 切屑的位置

(c) 0.5 s 切屑的位置

图 5 切屑的运动

Figure 5 Movement of chip

锥切削力的主要因素和次要因素并确定丝锥几何参数的最优组合。因素水平表如表 3 所示。

表 3 因素水平表

Table 3 Factor levels table

水平	因素		
	端面前角 $\gamma_p / (^\circ)$	切削锥角 $\kappa_r / (^\circ)$	沟槽螺旋角 $\omega / (^\circ)$
1	2	12	15
2	4	15	35
3	7	17	45

2.3 试验结果分析

通过 AdvantEdge FEM 软件的仿真运算, 计算出不同几何参数组合下切削力的大小, 分析螺旋槽丝锥几何参数对切削力的影响^[11]。试验结果分析如表 4 和

表 5 所示。表 5 中 k_1, k_2, k_3 分别是 1, 2, 3 水平下切削力总和均值, R 为极差。

表 4 正交试验结果

Table 4 Orthogonal experiment results

序号	端面前角 $\gamma_p / (^\circ)$	切削锥角 $\kappa_r / (^\circ)$	沟槽螺旋角 $\omega / (^\circ)$	切削力 F_c / N
1	2	12	15	38.89
2	2	15	35	38.63
3	2	17	45	83.80
4	4	12	35	61.00
5	4	15	45	100.67
6	4	17	15	64.71
7	7	12	45	97.57
8	7	15	15	138.30
9	7	17	35	51.33

表5 切削力极差分析
Table 5 Extreme difference analysis of cutting force

因素	N			R
	k_1	k_2	k_3	
端面前角 γ_p	53.77	75.46	95.73	41.96
切削锥角 κ_r	65.82	92.53	66.61	26.71
沟槽螺旋角 ω	80.63	50.32	94.01	43.69

通过极差分析表可以发现,螺旋槽丝锥几何参数对切削力影响的主次顺序为沟槽螺旋角 ω 、端面前角 γ_p 、切削锥角 κ_r 。综合分析这3个影响因素,得到螺旋槽丝锥攻合金结构钢的最优几何参数组合为沟槽螺旋角 35° ,端面前角 2° ,切削锥角 12° 。

3 结语

螺旋槽丝锥结构复杂,通过建立三维模型和切削仿真的方法来研究螺旋槽丝锥几何参数对丝锥性能的影响,可以缩短丝锥的研究周期。影响螺旋槽丝锥切削力的3个主要几何参数是端面前角 γ_p 、沟槽螺旋角 ω 和切削锥角 κ_r 。通过正交试验分析,影响因素的从大到小依次是沟槽螺旋角 ω 、端面前角 γ_p 和切削锥角 κ_r 。加工合金结构钢时,螺旋槽丝锥的端面前角取 2° ,切削锥角取 12° ,沟槽螺旋角取 35° 可以达到最佳的切削效果,降低切削力,提高刀具的寿命。

(上接第36页)

- [3] CHOI S W, KIM Y C, CHANG S H, et al. Interface properties and phase formation between surface coated SKD61 and aluminum alloys [J]. Transactions of nonferrous metals society of China, 2009, 19 (4): 875 - 878.
- [4] 王义强, 韩子渊, 叶国云, 等. 高速铣削 SKD61 模具钢表面完整性与疲劳寿命 [J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21 (11): 2995 - 3000.
- [5] 陈魁. 试验设计与分析 [M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 72 - 90.

参考文献:

- [1] 杨林建, 徐化文, 殷佳琳, 等. 基于切削实验的螺旋槽丝锥设计与制造研究 [J]. 制造技术与机床, 2014 (2): 111 - 114.
- [2] 韩荣第, 宋孝宗. 螺旋槽丝锥的有限元分析及其结构设计 [J]. 工具技术, 2007, 41 (8): 41 - 43.
- [3] 王延辰, 闫献国, 王旭强. 刃口钝化丝锥切削刃的三维建模及有限元分析 [J]. 工具技术, 2012, 46 (4): 46 - 48.
- [4] PISKA M, SLIWKOVA P. Surface parameters, tribological tests and cutting performance of coated HSS taps [J]. Procedia engineering, 2015, 100: 125 - 134.
- [5] STEININER A, SILLER A, BLEICHER F. Investigations regarding process stability aspects in thread tapping Al-Si alloys [J]. Procedia engineering, 2015, 100: 1124 - 1132.
- [6] 尹辉俊, 金剑, 杨平辉, 等. 基于 MATLAB 的大螺距螺旋槽丝锥优化设计 [J]. 煤矿机械, 2012, 33 (2): 38 - 39.
- [7] 姚建平. 整体硬质合金螺旋槽丝锥的结构分析 [D]. 成都: 西华大学, 2010: 33 - 40.
- [8] 姚建平, 邓远超, 赵丽. 基于 SolidWorks 的丝锥三维模型与二维图形的双向尺寸驱动 [J]. 工具技术, 2010, 44 (3): 73 - 75.
- [9] 彭菲, 郭宏, 闫献国, 等. 丝锥全生命周期参数对攻丝性能影响的研究 [J]. 制造技术与机床, 2015, 14 (4): 88 - 91.
- [10] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27 (9): 52 - 55.
- [11] 洪明虎, 黄志辉, 郑泽晔. 基于 Deform 3D 加工中心钻削加工仿真研究 [J]. 机械制造, 2010, 48 (5): 18 - 19.

- [6] 纪震, 廖惠连, 吴青华. 粒子群算法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [7] 刘维伟, 李锋, 任军学, 等. 基于标准粒子群算法的 GH4169 高速铣削表面粗糙度研究 [J]. 中国机械工程, 2011, 22 (22): 2654 - 2657.
- [8] 郭魏. 航空多框架结构件铣削变形机理与预测分析研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005: 10 - 22.
- [9] 王刚, 万敏, 刘虎, 等. 粒子群优化模糊系统的铣削力建模方法 [J]. 机械工程学报, 2011, 47 (13): 123 - 130.

[信息·简讯]

· 行业简讯 · TE Connectivity 助力打造智能、互联、自动化的“数字化工厂”

随着工业 4.0 的创新驱动,传统工厂面临着智能化转型升级的重大挑战,迫切需要进行自动生产线的升级,而 TE 为智能化工厂的打造提供了全面的创新型连接方案。在自动化生产线展示板块,TE 将一体化地呈现其致力于为搭建智能化工厂开发的 3 大核心应用“电气控制柜 + 工业机器人 + 运动控制”,可帮助工厂有效提高生产效率,实现智能化发展。

新能源以其低碳、高效且具备广泛互联性的优势,成为全球各个经济体能源战略角逐的焦点。TE 工业事业部聚焦未来,专注于新能源产业的技术升级,重点展示包括电池管理系统、控制保护系统以及充电桩等在内的智能连接方案,同时还有 IHV 高压直流接触器和交流\直流充电桩等新品首发。TE 不仅可以为客户提供安全、可靠、智能化的服务,更为客户带来超乎寻常的本地化高效的用户体验。

“工业物联网的提出给‘中国制造 2025’、工业 4.0 提供了一个新的突破口。”在这一智能制造的主旋律下,TE 将凭借其在工业自动化以及工业物联网领域的最佳实践和创新实力,不断推动工业解决方案向更智能化方向发展,助力本土客户提升生产运营效率,实现‘数字化工厂’的转型,成为新一轮工业革命的领跑者。

(供稿:于琪)