

挤压丝锥的数控磨削成形技术研究

赵文昌¹, 姚斌¹, 张凌¹, 欧阳醜¹, 姚博世²

¹厦门大学; ²陕西省汉江机床有限公司

摘要: 研究了挤压丝锥的成形方法, 根据机床的结构运动关系建立了五轴数控工具磨床的虚拟样机, 对磨削工艺技术进行了虚拟仿真, 确保实际加工形状的准确性和可靠性。针对小型挤压丝锥加工磨削过程存在刚性差、让刀严重、砂轮钝化等问题, 设计了顶尖和砂轮修整器的相应工装。通过磨削试验, 证明所用成形技术可以满足 5 μm 以内的挤压丝锥制造精度。

关键词: 挤压丝锥; 磨床; 成形; 数控; 虚拟仿真; 辅具

中图分类号: TG58

文献标志码: A

Research of CNC Grinding Forming Technology for Extrusion Tap

Zhao Wenchang, Yao Bin, Zhang Ling, Ouyang Kun, Yao Boshi

Abstract: This paper studies the method of forming extrusion tap. A virtual prototype of the five-axis CNC tool grinder is established according to the structure movement relationship of the machine for the virtual simulation of grinding technology to ensure the Accuracy and reliability of the actual machining shape. The Top and Dresser corresponding tooling are also designed to solve the problems of poor rigidity, tool recession and wheel dull of small extrusion tap. The result of processing test has proved the presented forming technology can achieve the machining accuracy of 5 μm .

Keywords: extrusion tap; grinder; forming; NC; virtual simulation; auxiliary

1 引言

挤压丝锥是一种通过挤压被加工材料使其发生塑性变形而获得内螺纹的刀具。与切削丝锥相比, 挤压丝锥的特点和优势为: (1) 加工出的内螺纹精度高; (2) 加工出的螺纹表面形成硬质层, 从而提高螺纹的承载力; (3) 挤压丝锥没有出屑槽, 芯部横截面积大, 提高了强度, 增加了寿命; (4) 攻丝不产生

切屑, 自动化程度高; (5) 生产周期短, 效率高。主要用于加工塑性大的材料, 如铜、铝合金、钛合金、低碳钢等工件^[1]。

本文研究了挤压丝锥的成形方法, 针对小型号(直径小于 6mm) 挤压丝锥在加工过程中遇到的刚性差、让刀严重以及砂轮钝化等问题, 设计了相应的工装, 并在某数控机床厂进行了实践, 加工出了质量可靠的挤压丝锥。

2 挤压丝锥结构参数的设计

挤压丝锥由夹持部分和工作部分构成, 如图 1

基金项目: 国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项资助(2010ZX04001-162)
收稿日期: 2013年5月

[3]米谷茂. 残余应力的产生和对策[M]. 朱荆璞, 邵会孟译. 北京: 机械工业出版社, 1983.

[4]Matsumoto Y, Barash M M. Effect of hardness on surface integrity of AISI 4340 steel[J]. Trans. OF ASME, Journal of Eng. for Industry, 1986, 108: 116-126

[5]Wu D W, Matsumoto Y. The Effect of Hardness on The Residual Stresses in Orthogonal Machining of AISI 4340 Steel[J]. TRANS. ASME Journal Of Engineering For Industry, 1990, 112(3): 245-252.

[6]Virginia Irginia Garcia Navas, Oscar Gonzalo, Ion Ben-goetxea. Effect of Cutting Parameters in the Surface Residual Stresses Generated by Turning in AISI 4340 Steel[J]. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 2012, 61: 48-57.

[7]R M' Saoubi, J C Outeiro, B Changeux, J L Lebrun, A Morao Dias. Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 96(1-3): 225-233.

[8]陈建岭, 李剑锋, 孙杰, 等. 钛合金铣削加工表面残余应力研究[J]. 机械强度, 2010(1): 53-57

[9]方开泰. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 科学出版社, 1994.

第一作者: 王建录, 博士, 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 西安市 710049

First Author: Wang Jianlu, Doctor, State Key Laboratory for Manufacturing System Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

所示。夹持部分传递扭矩,工作部分由挤压部分、校准部分和退刀部分组成。挤压部分包括前锥部和前锥部后的前两扣,主要用于螺纹的挤压。丝锥的牙型主要是采用等深非圆理论设计^[2]。

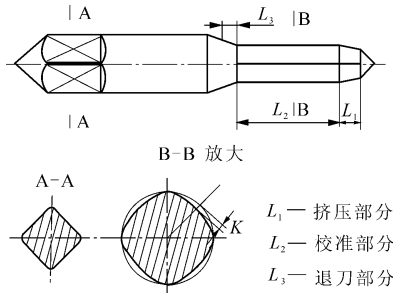


图 1 挤压丝锥结构图

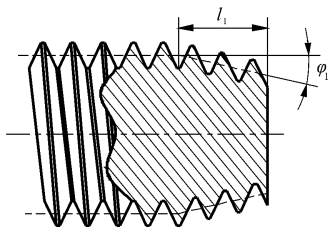


图 2 前锥部示意图

2.1 前锥部结构参数的设计

如图 2 所示,前锥部是挤压丝锥重要的工作部位,几乎承担全部的挤压工作,设计和加工要求较高。其两个重要参数是锥角 ϕ_1 和长度 l_1 ,需根据丝锥材料和被加工孔类型的不同进行合理选取,确保丝锥具有良好的工作性能^[3]。锥角和长度的参数选取如表 1 所示。

表 1 前锥部参数(P 为螺距)

孔的类型	锥角 ϕ_1	长度 l_1
通孔	5	$4P$
盲孔	9	$2P$

2.2 校准部分结构参数的设计

(1) 丝锥中径 d_2' 和大径 d'

挤压丝锥是靠挤压形成螺纹孔,螺纹孔的孔径会因丝锥的外轮廓磨损以及被加工材料的回弹而变化,因此挤压丝锥校准部分的中径和大径要比同类规格的切削丝锥大一个余量^[4]。其计算公式为

$$d_2' = d_2 + nT \quad (1)$$

式中, d_2' 为挤压丝锥中径; d_2 为内螺纹基本中径; n 为余量等级; T 为单位等级量(一般取值为 0.0127mm);

大径 d' 的计算公式和中径相同,以 M1.2 × 4B (B 指盲孔用丝锥) 为例,可表示为

$$d_2' = 1.038 + 4 \times 0.0127 = 1.089\text{mm}$$

$$d' = 1.2 + 4 \times 0.0127 = 1.251\text{mm}$$

(2) 棱数和棱宽

小型号(直径小于 6mm)挤压丝锥一般采用 3-4 棱,大型号采用 5-6 棱。在实际生产中多采用偶数棱,便于测量和保持径向力的平衡。棱边有直线型和螺旋型两种,直线型便于磨削加工,一般为小型号挤压丝锥所采用;螺旋型攻丝时,稳定性能好,精度高,多用于大型号挤压丝锥。棱边宽度根据棱数和直径合理选取,一般在 (0.07-1.2) mm 之间,如表 2 所示。

表 2 棱宽

型号	M1.0	M1.2	M6.0
三棱	0.085	0.102	0.455
四棱	0.072	0.087	0.435

(3) 铲磨量 K

在保证周边牙型无畸变和足够芯部强度的前提下,铲磨量应尽可能的大,以减少摩擦阻力。另外应根据丝锥材料和被加工材料的不同做适当调整。铲磨曲线采用圆弧曲线或阿基米德曲线,其中圆弧铲磨曲线以其易于加工的优点被广泛采用。单边铲磨量 K 的选取如表 3 所示。

表 3 铲磨量

棱数 Z	4	5	6
铲磨量 K	$0.035d$	$0.03d$	$0.02d$

(4) 螺距 P 、校准部长度及退刀部长度

挤压丝锥的螺距等于被加工螺纹的螺距,螺距公差是以直径当量为基础确定的,以 7 个螺距来测量,一般该当量不超过 5H 级螺母中径公差的 10%。校准部的长度一般取 $7-12P$,为了减少丝锥螺纹与被加工螺纹的摩擦,将校准部前 2-4 个全齿型后沿整齿形做成倒锥,倒锥量采用 100mm 内减少 0.1-0.15mm。对于小型号丝锥,需要留 2-3P 的退刀量,退刀锥度一般取 $15^\circ-20^\circ$ ^[5]。

3 挤压丝锥成形技术

3.1 截面方程的构造

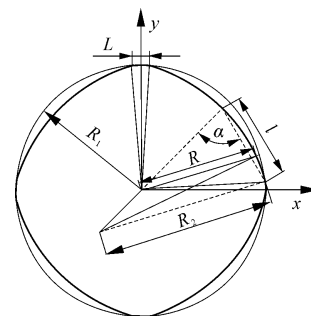


图 3 丝锥截面参数图

如图 3 所示:已知棱宽 L ,半径 R_1 ,铲磨量 K ,求

得半径 R 随自变量 θ 的离散值即可。根据点 (R_i, θ_i) 进行直线插补, 最终得到满足要求的丝锥截面。棱宽 L 所对应的丝锥中心角 ϕ 为

$$\phi = L/R_1 \quad (2)$$

当 $\phi/2 < \theta < (\pi/2 - \phi/2)$ 时, θ 是 R 的参变量, 其关系为

$$R = (R_2 - R_1) \cos\theta + \sqrt{R_2^2 - (R_2 - R_1)^2 \sin^2\theta} \quad (3)$$

式中 R_2 为铲磨圆弧半径。

$$R_2 = l/(2 \times \cos\alpha) \quad (4)$$

故丝锥横截面方程为

$$\begin{cases} R = R_1; \theta \in (0, \phi/2) \cup (\pi/2 - \phi/2, \pi/2) \\ R = (R_2 - R_1) \cos\theta + \sqrt{R_2^2 - (R_2 - R_1)^2 \sin^2\theta}; \theta \in (\phi/2, \pi/2 - \phi/2) \end{cases} \quad (5)$$

根据式(5) 在保证精度的情况下, 求得 θ 的步长, 在程序中依次对 0 到 $\pi/2$ 所对应的 R 值进行循环, 就可得到挤压丝锥成形的数控磨削加工代码。

3.2 铲磨量的设计

进行大径轮廓磨削的过程中, 由于平行砂轮吃刀量不断变化, 会发生比较严重的让刀现象, 使加工出来的丝锥牙顶宽窄不一。针对此问题, 在设计时给出外圆铲磨量 K_1 和中径铲磨量 K_2 , 两个铲磨量值。螺纹要进行粗、精两次加工, 故在实际加工中, 螺纹铲磨量基本能达到给定的 K_2 值。加工外轮廓时需要设定 K_1 的值大于 K_2 , 从而补偿由让刀引起的加工不到位现象, 提高挤压丝锥的牙顶质量。另外, 在 G 代码中加入宏变量, 以便对丝锥大径和加工位置进行微调, 提高加工效率。

4 五轴数控工具磨床加工仿真

在进行加工仿真之前, 首先将实际的机床按照运动逻辑关系分解为床身、线性移动轴部件、旋转轴部件及砂轮等模块, 其次对各部件构造简化的三维几何模型, 然后将所建立的实体模型按照运动逻辑关系进行装配^[6]。

图 4 为 M1.2 挤压丝锥的磨削仿真过程及结果, 主轴两边各装一片砂轮, 先用平行砂轮进行丝锥的外圆磨, 再用成型砂轮进行螺纹磨。

5 辅助工装设计

小型号挤压丝锥, 刚性差, 精度要求高, 为了保证此类丝锥加工的稳定性和精度, 课题组专门设计了顶尖和砂轮修整器。

5.1 顶尖的设计

小型号挤压丝锥在加工过程中会出现较明显的

让刀。由于在丝锥截面的高点和低点吃刀量不一样, 故所受的径向力和摩擦力不同, 会出现不同程度的弯曲及偏摆, 从而导致让刀及不稳定现象。

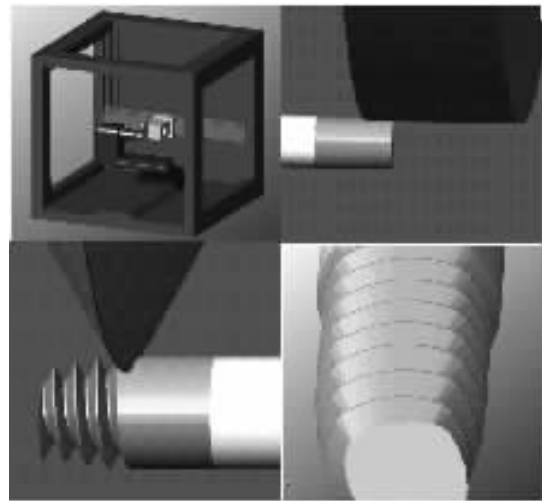


图 4 挤压丝锥仿真过程及结果

根据以上情况, 考虑到小型号挤压丝锥直径较小, 顶尖的要求较高, 设计了一种可上下、左右移动的阴顶尖, 降低了顶尖位置精度的技术要求, 如图 5 所示。顶尖头部采用圆弧过渡, 避免了平行砂轮在加工丝锥倒锥时发生干涉, 并且采用分离式设计, 更换方便, 较好的解决了加工不稳定现象。

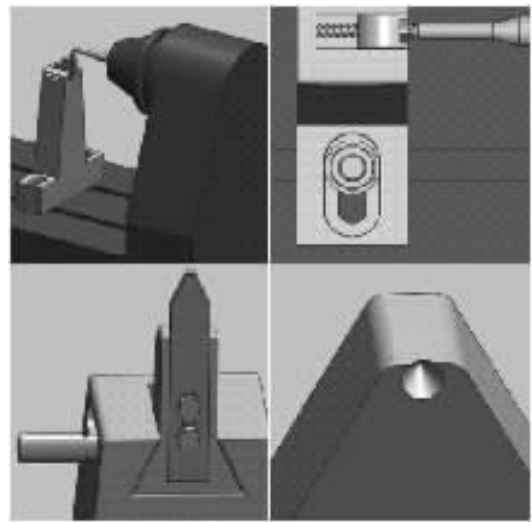


图 5 顶尖模型图

5.2 砂轮修整器的设计

丝锥牙底尖锐程度对丝锥性能的好坏有很大影响, 牙底越尖, 容屑空间越大, 丝锥越锋利, 不容易出现粘屑现象。因此磨削挤压丝锥螺纹用成形砂轮的尖锐程度对砂轮的修整提出了较高要求。本文设计了一种砂轮修整器, 简单实用, 并且较大程度提高了砂轮修整的效率, 砂轮在修整中沿金刚笔走 60° 的直线, 两边各修一次。在实践中, 完全解决了的丝锥

牙底不尖的问题。砂轮修整器如图6所示。

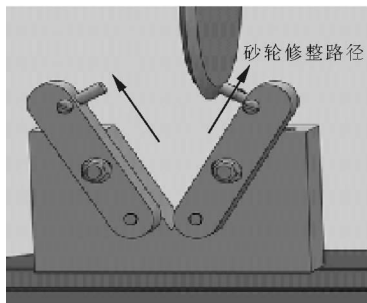


图6 砂轮修整器模型

以M1.2×0.25型号的丝锥为例,在五轴数控工具磨床上进行了试验磨削,其加工结果如图7所示。



图7 M1.2x0.25 挤压丝锥外形图

通过对50只丝锥进行检测,中径和大径具有较好的连续一致性,牙底的尖锐程度完全符合要求。现场加工和检测结果证明顶尖和砂轮修整器均满足技术要求。

6 结语

本文介绍了挤压丝锥的数控成形方法,主要参数的选取原则。并基于三维仿真软件对虚拟样机的

磨削过程进行了仿真,确保实际加工形状的准确性和可靠性。与此同时,针对小型号挤压丝锥刚性差、让刀严重、砂轮钝化的问题设计了顶尖和砂轮修整器。通过加工实验有效地验证了本文提出的成形方法和参数选取原则具有合理性,设计的工装能够保证小型挤压丝锥加工的稳定性和制造精度,在实际生产中具有很好的应用与推广价值。

参考文献

- [1]刘作庆,刘拥军,张建周. 挤压丝锥的应用[J]. 工具技术 2012, 46(4): 65-67.
- [2]计志孝. 螺纹加工新工艺[M]. 兵器工业出版社, 1990.
- [3]苟琪,陈鼎昌. 钛合金TC4攻丝专用丝锥设计[J]. 现代机械, 1998, 3(4): 43-45.
- [4]肖思来,李革伟. 整体硬质合金挤压丝锥的设计工艺[J]. 工具技术 2005, 39(4): 52-55.
- [5]刘志峰. 挤压丝锥计算机辅助设计[J]. 机械制造, 1996, 11(1): 10-12.
- [6]曹翔,姚斌,张哲山,等. 五轴数控工具磨床虚拟检测及磨削仿真技术的研究[J]. 工具技术 2012, 46(9): 119-121.

第一作者:赵文昌,硕士研究生,厦门大学物理与机电工程学院 361005 福建省厦门市

First Author: Zhao Wenchang, Postgraduate, School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

德国机械制造商将开发中国中端市场

日前,德国曼海姆大学中小企业研究所与德国机械设备制造联合会的一项联合研究成果显示,鉴于中国的重要性和经济活力与日俱增,未来中国将进一步成为德国机械制造商企业战略核心。

这项题为“开发中国中端市场的本地商业模式”的研究报告强调,将重点只放在一个细分市场或者成熟市场,无法保持国际竞争力;研究分析了德国机械行业在中国市场快速发展过程中面临的机遇和风险。

2012年,中国以6780亿欧元的销售额成为世界上最大的机械市场,超过美国的3300亿欧元。2003年,中国机械销售额为770亿欧元,9年后达到6780亿欧元,年复合增长率为27.3%。德国机械设备制造联合会主席林德勒表示,有能力在中国长期发展的企业一定要尽早自己深入市场,而不要等待中国竞争对手出手。

研究显示,未来三到五年,25%的德国机械制造商将在中国拥有自己的研发机构。

未来中端市场非常重要,德国企业必须在制定战略和经营模式中更加重视中国市场。鉴于许多德国机械的功能超乎中国客户的需求,研究人员担心,这些客户流失到中国竞

争对手的风险很大。

调研显示,未来三到五年,中端市场将成为中国机械设备最大的细分市场,占比从目前34.3%的提高到40.3%,能实现高达6%的增速,为此德国机械制造商在华未来定位尤其要重视中端市场。德国机械制造商强大的服务和相对高价的产品无法永远满足本地客户的性价期望。

由于中国和其他新兴市场出现了更有竞争力的供货商,本地客户有了更多的替代选择,德国企业必须考虑到其产品和商业模式更能满足当地需求,但目前只有25%参与调研的德国企业像了解欧洲竞争对手一样,了解中国对手有目标的竞争措施。为确保未来在中国市场继续增长和应对新增的中国竞争对手,德国机械制造商需要提前实施并检验双重商业模式。

对于德国机械制造商而言:第一,要通过创新实现全球扩张,保障现有的高端市场;第二在中国等新兴经济体,平行开发中端市场的新增长机遇。分析指出,中国高性能、高附加值机械市场的长期发展有利于德国企业实现超水平盈利,同时也必须推行中端市场新客户的发展。

为开发中端市场,德国机械制造商必须保证现有实力和高端市场的竞争优势,如科技、品牌、咨询和服务等方面,同时已将适应本地需求的以上优势向中端市场转移。