

基于 TRIZ 理论的组合机床镗刀系统结构改进

吴贵军 国秀丽

(安阳工学院机械工程学院, 河南 安阳 455000)

摘要: 根据组合机床镗孔车端面动力头镗刀系统的使用情况, 运用 TRIZ 理论, 研究了镗刀系统结构存在的技术矛盾, 分析出了改善的参数和恶化的参数, 根据矛盾矩阵, 采用分割原理, 提出了镗刀刀座与刀杆采用分体式设计的改进措施, 在使用过程中出现明显的振动现象, 又建立物-场分析模型, 采用第二类标准解, 刀杆的夹持部分制成锥度, 利用 SolidWorks 软件建立了刀杆的三维模型, 用 Simulation 插件对刀杆进行了有限元分析, 运算出刀杆受力变形量满足要求, 使用过程中振动现象完全消除。

关键词: TRIZ; 组合机床; 有限元分析; Simulation

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A

Structure improvement of boring tool system of combined machine tool based on the theory of TRIZ

WU Guijun, GUO Xiuli

(School of Mechanical Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, CHN)

Abstract: According to the use end power head boring cutter system of boring modular machine tool and using TRIZ theory the technical contradictions of boring tool system structure is studied. Ameliorative parameters and depraved parameters have been analyzed. According to the contradiction matrix and segmentation principle the boring cutter and the cutter rod split design improvement measure is adopted. The obvious vibration phenomenon appears in the use process. And the analysis model of substance - field has been established. Using second type of standard solution holding portion of cutter clamping rod has been made into taper. Three - dimensional model of the cutter arbor has been established using SolidWorks. And FEM analysis is carried out using Simulation plug - in components. The cutter bar force deformation which meets the requirements has been calculated. The vibration phenomenon disappears completely in the use.

Keywords: TRIZ; modular machine tool; finite element analysis; Simulation

创新是人类永恒的话题, 是推动人类进步的动力, 是工业发展的源泉^[1], 在过去的 20 年里, 我国工业快速发展, 但是拥有自主知识产权含量较高的产品

较少, 由于创新是 1 个系统工程, 见效慢、投入大、失败风险率高, 所以我国的工业发展一直滞后于欧美等创新大国, 而找到创新工具、创新技法会使我们的创新过

[5] 黄坤涛, 房丰洲, 官虎. 超精密车削表面微观形貌对光学特性的影响[J]. 光学精密工程, 2013, 21(1): 101 - 107.

[6] 许乔, 王健, 马平, 等. 先进光学制造技术进展[J]. 强激光与粒子束. 2013, 25(12): 3098 - 3015.

[7] 夏欢, 陶继忠. 空气静压球面轴承主轴回转精度测试研究[J], 轴承. 2013(7): 56 - 58.

[8] 张丹, 黄惟公, 王瑞, 等. 车床主轴回转精度数字式单向测量法[J]. 制造技术与机床, 2014(10): 41 - 54.

[9] Bryan J B, Vanherck P. Unification of terminology concerning the error motion of axes of rotation [J]. CIRP Annals. 1975(8): 555 - 562.

[10] Donaldson R P. Simple method for separating spindle error from test

ball roundness error[J]. CIRP Annals. 1972(2): 125 - 126.

[11] Gao W, Sato E, Onuma T. Roundness and spindle error measurement by angular three - probe method[J]. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 2002, 68(9): 1195 - 1199.

[12] ASME B89.3.4 - 2010 《Axes of Rotation: Methods for Specifying and Testing》

第一作者: 孙邳信, 男, 1990 年生, 硕士研究生, 主要从事超精密切削工艺与超精密机床测试方面的研究。

(编辑 刘文元) (收稿日期: 2015 - 04 - 27)

文章编号: 150933

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

程起到事半功倍的效果。TRIZ(theory of inventive problem solving)是俄文中发明问题解决理论的头。由前苏联根里奇·阿奇舒勒及其领导的一批研究人员,自1946年开始,花费1500人/年的时间,在分析研究世界各国250万件专利的基础上,研究与归纳人类在进行发明创造、解决技术难题过程中所遵循的科学原理与法则后建立的^[2]。其主要内容包括:39个工程技术参数、40条创新原理、矛盾冲突解决矩阵、物质-场分析理论、76种标准解法以及发明问题解决算法(ARIZ)等。

组合机床是一种按照合理的制造工艺,以大量通用机床部件为基础,配以少量的专用部件,同时配备专用夹具组合在一起的专用高效设备,是企业快速响应市场需求、提高产品的质量、提高企业综合竞争力所必备的设备之一,在当今汽车制造业中广泛应用。镗孔车端面动力头由于其能够镗出较高精度内孔,同时保证端面与内孔的垂直度,大大提高了加工效率和工件加工质量,在组合机床中被普遍应用。

1 TRIZ 理论的镗刀结构改进

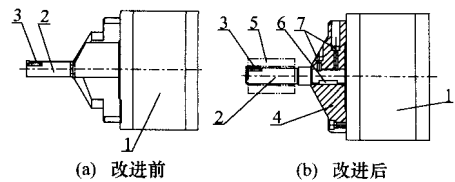
镗孔车端面动力头部件经过几十年的市场实践,其性能被众多生产企业所认可,但其镗刀系统的刀座和刀杆一直采用一体化结构,不仅重量较大,且占用较大的放置空间,而在实际生产中,由于工件的种类多样性,导致需要镗削的内孔尺寸也是千变万化,1个刀杆加工内孔尺寸只能在一定范围内变化,生产企业必然要准备很多不同直径的镗刀座,每次更换镗刀需要天车的帮助才能完成,另外刀座固定在刀盘上时,为了使刀座和刀盘同轴,采用2个柱销定位,经常拆卸刀座对柱销会产生一定的磨损,影响刀杆与回转轴线的同轴度,严重影响内孔的加工精度。这时就应当使用TRIZ的矛盾矩阵理论,抽取工程技术参数,将矛盾转换为TRIZ语言,得到有效的解决方法。

在上面的问题中,镗孔车端面动力头的刀座、刀杆、存放空间、机床工人构成1个技术系统,刀座、刀杆是技术系统的主体,系统的理想解(IFR)是刀座与刀杆重量很轻便于工人移动和拆装,刀座、刀杆的尺寸很小,占用较少的空间。而由此产生后果就是系统的可靠性变坏、强度变低,得到的矛盾矩阵如表1所示。

表1 镗刀结构改进的矛盾矩阵

		恶化	14 强度	27 可靠性
改善	1 运动物体的重量		28, 27, 18, 40	3, 11, 1, 27
	改7 运动物体的体积		9, 14, 15, 7	14, 1, 40, 11

根据表1的矛盾矩阵,得出推荐的发明原理是:1分割;3局部质量;7嵌套;9预先反作用;11事先防范;14曲面化;15动态特性;18机械振动;27廉价替代品;28机械系统替代;40复合材料。矛盾矩阵给出的推荐解是朝着问题解决的方向发展的,但是不能直接得到矛盾的特解。在表1的矛盾矩阵中,1分割原理、14曲面化、27廉价替代品、40复合材料均出现了2次,考虑不增加系统的复杂性,采用1分割原理进行改进,将镗刀杆与刀座进行分体式设计,原结构如图1a所示,改进后的结构如图1b所示。但是该结构能否满足实际生产需要还需要进一步验证。



1—刀盘; 2—刀杆; 3—镗刀; 4—刀座; 5—工件; 6—键; 7—锁紧螺钉。

图1 镗刀结构改进前后对比

2 镗刀杆分体式改进验证

该镗刀系统是用来镗削汽车前轴的主销孔,同时镗削孔端面。加工工艺参数(半精加工):直径 $D = 34.5 \text{ mm}$;镗刀线速度 $v = 98 \text{ m/min}$;主轴转速 $n = 900 \text{ r/min}$;进给速度 $f = 0.15 \text{ mm/r}$;背吃刀量 $a_p = 0.65 \text{ mm}$;镗刀 $\gamma_0 = 15^\circ$ 、 $\alpha_0 = 8^\circ$ 、 $k_r = 90^\circ$ 、 $k'_r = 25^\circ$ 、 $\lambda_s = -5^\circ$ 、 $r_e = 1 \text{ mm}$ 、刀片材料为硬质合金。

改进后机构能够满足刀杆与刀盘的同轴度要求,固定可靠,加工工艺参数没有改变,但使用过程中出现了较为明显的振动现象,在工件镗削内孔表面上出现了明显的振动波纹,严重影响工件表面质量,并且伴有严重的噪声。

3 振动原因分析及解决措施

镗刀系统其它位置的结构没有发生变化,测量镗刀杆的旋转精度符合要求,刀杆和刀座安装后进行了动平衡实验,所以不可能是外界引起的强迫振动,是由镗刀系统结构改变而引起的振动。在改进过程中,镗刀杆振动说明是由于镗刀杆刚度不足引起的振动,而解决这类问题通常采用增大直径或者缩短镗刀杆的长度这2种方法。增大镗刀杆的直径会使镗削内孔的加工范围变小,缩短镗刀杆长度会使镗孔深度变浅,这2种方法虽然很容易实现,但对于整个镗床的加工能力减弱了,都是不可取的。

采用TRIZ理论中的物-场分析方法进行分析。

物—场分析方法是1种使用符号表达技术系统变换的建模技术,1个技术系统如果发挥其功能,就必修构成一种最小的系统模型,其必须具备3个基本元素:2种物质 S_2 、 S_1 和1种场 F ,其中 S_2 是主动物体, S_1 是被动物体, S_2 对 S_1 的作用称为场 F 。因为振动是镗刀杆产生的,所以对其建立物—场模型。在改进设计中,由刀座、刀杆一体改进为刀杆、刀座分体设计而出现振动,说明刀座对刀杆的固定不够牢固,镗刀杆振动物—场模型如图2所示。图2中 S_2 为刀座, S_1 为刀杆, F 为刀座对刀杆的夹持力。

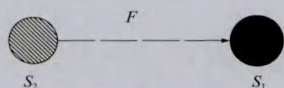
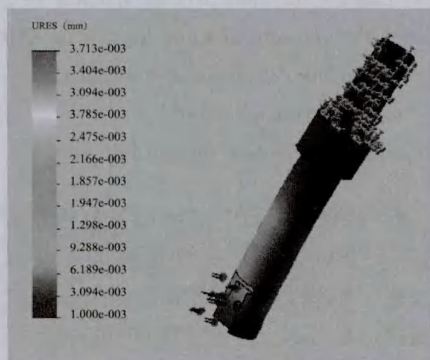
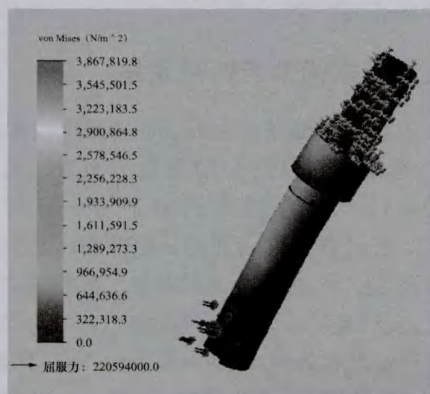


图2 镗刀杆振动物—场分析模型图

对于这个问题来说,由于 S_2 对 S_1 的作用不充分,应采用第二类标准解(增强物场模型),可以不改变刀杆外伸长度而增加刀杆的夹持长度,并在刀杆外层包裹较软金属,使之在夹紧过程中变形而与安装孔充分接触;为了方便安装、更换刀杆,刀杆夹持采用锥度连接。



(a) 位移云图



(a) 应力云图

图3 拉爪断裂故障树分析图

对镗刀进行受力分析,确定改进后镗刀杆刚度能否满足要求,镗刀在切削过程中会产生3个相互垂直的分力,即主切削力 F_c 、背向力 F_p 和进给力 F_f ,引起刚度不足的力是主切削力 F_c 、背向力 F_p ,由于 $k_r = 90^\circ$,背向力 F_p 比主切削力 F_c 小的多,所以近似按照镗刀杆只受主切削力 F_c 来计算镗刀杆的径向载荷,公式如下:

$$F_c = 9.8 \times 3.57 \times a_p \times f^{0.75} \times HB^{0.75} \times K_{pZ1} \times K_{pZ2}$$

式中: HB 为工件材料硬度; K_{pZ1} 为刀具主偏角的修正系数; K_{pZ2} 为刀具刀尖半径 r 的修正系数。

最后计算出 $F_c = 345.9 \text{ N}$,利用SolidWorks软件进行镗刀杆的三维建模,该软件自带有Simulation插件,先在Simulation插件中设置镗刀杆材料为普通碳钢,对镗刀杆夹持部分添加固定约束,在刀杆刀片位置添加345.9 N的径向载荷,然后按曲率实体网格化,运行算例,得出如图3所示的结果,最大变形量为0.003 7 mm,最大应力下降到3.87 MPa。将改进后的刀座和镗刀杆安装在设备刀盘上进行试验,发现振动现象消失了,镗出的内孔误差、粗糙度、与端面的垂直度均满足要求,说明,表明镗刀系统改进获得成功。

4 结语

对现有组合机床使用的镗孔车端面动力头使用过程中存在的问题,运用TRIZ理论的矛盾矩阵,采用推荐的分割原理,实现刀盘和刀杆的分体式设计,虽然之后出现了明显的振动现象,经过使用物—场分析方法,采用刀杆夹持部分制成锥度的方式,振动现象得以消除。该研究对相关机床的改进提供了技术参考。

参 考 文 献

- [1] 蒯苏苏,马履中. TRIZ 理论机械创新设计工程训练教程[M]. 北京: 北京大学出版社,2011.
- [2] 沈萌红. TRIZ 理论及机械创新实践[M]. 北京: 机械工业出版社,2012.
- [3] 赵鹏睿,崔彦彬,孙少华. 基于TRIZ的非标路面车辆座椅减振设计与仿真[J]. 制造业自动化,2014,35(3):145-147,150.

第一作者:吴贵军,男,1980年生,主要从事机械设计、制造、创新方法的教学及研究工作。

(编辑 李 佳)

(收稿日期:2014-08-25)

文章编号:150934

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。