

基于 ABAQUS 有限元仿真的碟形刀装置优化分析

李会荣,张浩辰

(陕西国防工业职业技术学院,陕西 西安 710300)

摘要:为减少薄铝箔剪切机在高速切削过程中产生的震动,找到影响分切过程中震动产生的主要因素,对碟形刀装置进行 ABAQUS 有限元仿真分析,通过模拟实际工况,分析加载周期性载荷工况下的应力、应变分布情况。结果表明:在螺栓预紧力的作用下,刀座径向开口处发生变形,尤其碟刀片安装基准面变形明显,最大变形位移超过 0.03 mm;在高速切削过程中,碟刀片受到不均匀切削力的周期性变化,导致整体装置震动,降低了分切精度。实验数据验证了仿真结果的正确性。对结构进行优化改进后,已在实际产品中得到应用。

关键词:铝箔剪切机;碟形刀;ABAQUS;高速切削

中图分类号:TH122 文献标志码:B 文章编号:1671-5276(2021)05-0142-04

Optimization Analysis of Disc Cutter Device Based on ABAQUS Finite Element Simulation

LI Huirong, ZHANG Haochen

(Shaanxi Institute of National Defense Industry, Xi'an 710300, China)

Abstract: In order to reduce the vibration generated by the thin aluminum foil shearing machine in the high-speed cutting process and find out the main factors affecting the vibration during the slitting process, the ABAQUS finite element simulation analysis on the dish-shaped tool is conducted, with whose actual working results, the distribution of loaded stress and strain is analyzed. The results show that the radial opening of the tool holder is deformed over 0.03 mm under the application of bolt preloaded, and the base surface of the disc blade displays even greater deformation. During the high-speed cutting process, the disc blade is subjected to periodic changes in uneven cutting force, which causes the vibration of the overall device and reduces the cutting accuracy. Experimental data verify the validity of the simulation results. After structure optimization, the improved cutter device has been applied in actual products.

Keywords: aluminum foil shearing machine; dish-shaped tool; ABAQUS; high-speed cutting

0 引言

铝箔具有覆盖性好、质量轻、防紫外线能力强、保质期长等优点,广泛地应用于食品包装等工业生产。铝箔剪切机将轧制、涂层或复合后的宽幅、大卷径铝箔卷,按客户要求分切成一定的宽度和长度,是目前铝箔生产主要设备之一。随着国内外铝箔消费量的不断增长,我国的铝箔生产量超越美国,成为全球最大的铝箔生产国家^[1-3]。碟形刀是铝箔剪切机的核心部件,直接影响铝箔分切质量,是整个设备的精度保障。但是在高速切削过程中,刀具安装座由于其结构会随着刀具旋转切削而产生震动,严重影响切削精度,此外对于 0.01 mm 厚度以下的薄铝箔,细微的震动都可能使得铝箔边缘产生毛刺和弯曲。因此,以图 1 所示的 BLFQ850 高速薄铝箔剪切机的碟形刀装置为例,对其刀座进行仿真分析,并进行了优化设计,对提高设备精度和效率,保证薄铝箔产品质量有着重要意义。

1 碟形刀固定装置结构及工作原理

碟形刀作为切削刀具,其固定安装装置是设备的核心部

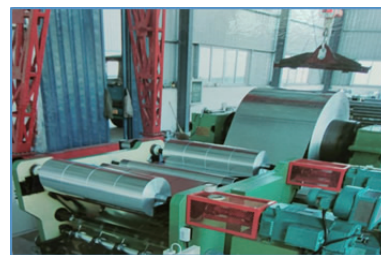
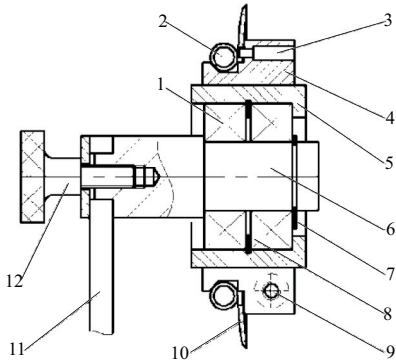


图 1 BLFQ850 高速薄铝箔剪切机实物

件^[4]。其刀片、刀座、支轴以及其他的附件在工作过程中产生的细微变形,在高速、周期性的切削力作用下会被不断地累积放大,最终影响设备的使用精度^[5]。本文以 BLFQ850 高速薄铝箔剪切机配备的碟形刀装置(图 2)为典型设备进行研究,具体结构如图 3 所示。

图 2 中:刀座 4 通过紧固螺钉与套筒连接,通过螺钉的松紧可以调节刀座在套筒上面的位置用以控制铝箔的宽度;套筒 5 通过轴承与支轴 6 相连接,套筒 5 可绕支轴 6 旋转。刀片 10 卡在刀座上,一共拥有两个定位面。如图 3(b)所示,A 基准面为刀片轴向定位面、B 基准面为径

向定位面。



1—轴承;2—弹簧;3—定位销;4—刀座;5—套筒;
6—支轴;7—轴用弹性挡圈;8—孔用弹性挡圈;
9—夹紧螺钉;10—碟刀片;11—弧形板;12—锁紧螺钉。

图2 碟形刀装置

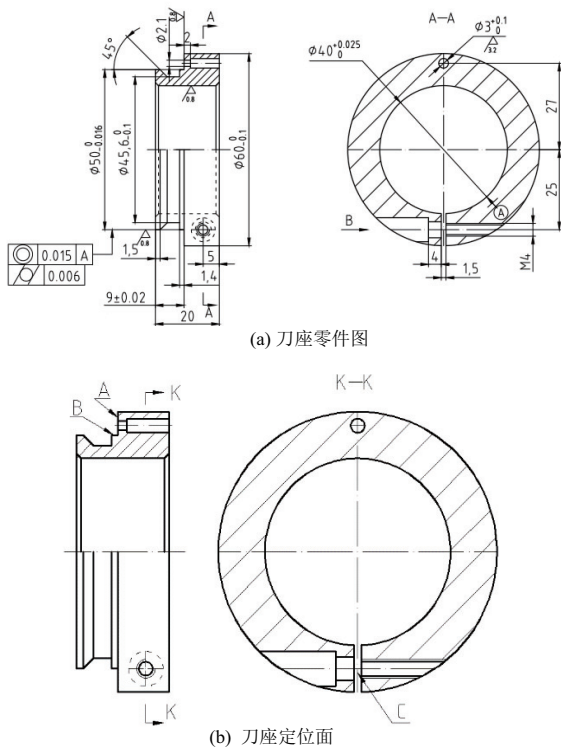


图3 刀座结构图

2 碟形刀固定装置有限元模型建立

2.1 CREO 三维模型的建立

为分析碟形刀产生震动的主要原因,本文对碟形刀装置模型进行了简化处理,去除了倒角、倒圆角以及工艺孔等不影响主要结构的特征,在 CREO 三维设计软件中,保留了安装部分以及拆卸装置。同样原理将支轴、套筒、轴承进行了简化处理,以方便有限元分析中的计算,最终建模结果如图 4 所示。

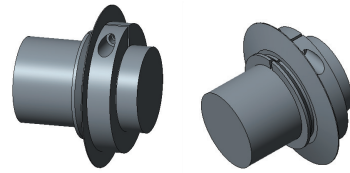


图4 碟形刀固定装置三维模型

2.2 有限元模型建立

a) 模型导入

通过 step 格式模型,将 CREO 中的三维模型导入 ABAQUS 有限元仿真分析软件中,并对其进行重新装配(图 5),刀座与支轴属于间隙配合^[6]。

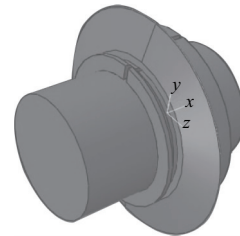


图5 ABAQUS 装配模型

b) 网格划分

根据模型形状,对 ABAQUS 中导入的模型进行网格划分(图 6),其中支轴和刀座采用全六面体网格划分,碟刀片采用六面体为主、四面体为辅的网格划分方式。此外,在两个部件相互接触的表面以及刀座定位基准面的网格细化处理,使结果更加精确。

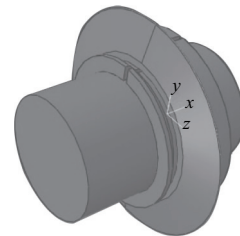


图6 碟刀装置网格划分

c) 材料属性设置

根据 ABAQUS 材料属性表,本文碟形刀装置材料属性设置如表 1 所示。

表 1 材料属性设置表

名称	材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(kg/m ³)
支轴	Q235	210	0.274	7.86
刀座	45	209	0.296	7.89
碟刀片	9GrSi	210	0.294	7.85

d) 载荷设定

1) 对刀座螺栓紧固连接处设置定向点载荷,模拟紧固螺栓作用,使得刀座内侧可以与支轴外侧紧密接触。

2) 刀片外侧加载一圈均匀载荷,模拟碟形刀片在切

削过程中持续受到的周圈力作用。

3) 碟刀片与刀座、刀座与支轴之间设置面面接触,即在外力作用下,不同的零件不会因为变形而进入到其他零件模型中。

e) 边界条件设定

支轴在整个分切工作过程中与支架连接,基本保持不动,因此将两个端面六个自由度完全固定,作为整个有限元模型的支座(图 7)。

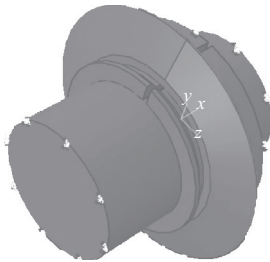


图 7 边界条件设置

3 蝶形刀固定装置仿真结果分析

3.1 应力分析

根据仿真分析结果显示,由于刀座与支轴之间存在间隙,在螺栓紧固力的作用下,应力最为集中的位置位于刀座开口的对称方向,如图 8 中红色部分所示(本刊黑白印刷,相关疑问请咨询作者),最大应力为 29.67 MPa,远远小于许用应力 120 MPa,刀座结构不至于变形而破坏。

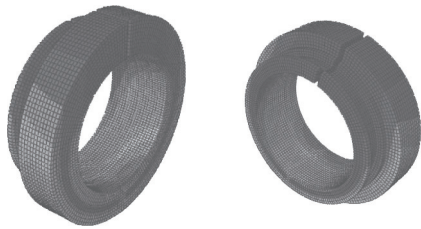


图 8 应力云图

3.2 变形分析

根据变形云图(图 9)分析,由于螺栓紧固力的作用,导致缺口处从两侧向中间发生了位移变形,变形区域包括刀座上侧以及与碟刀片卡环处。其中整体变形量最大的位置为红色区域,最大变形量为 0.041 8 mm,碟刀片定位基准面最大变形处为橙色区域,最大变形量为 0.034 7 mm。

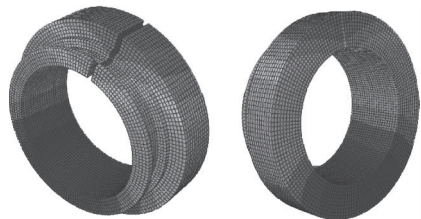


图 9 变形云图

3.3 结果分析

根据结果显示,在螺栓紧固力作用下,刀座的受力最大处为径向开槽处对侧,应力远远低于许用应力,不影响使用。但是开槽处的变形会导致碟刀片定位基准面发生位移,导致刀片在切削过程中发生明显的周期性受力不均匀现象,从而产生刀架整体的震动^[7-8]。

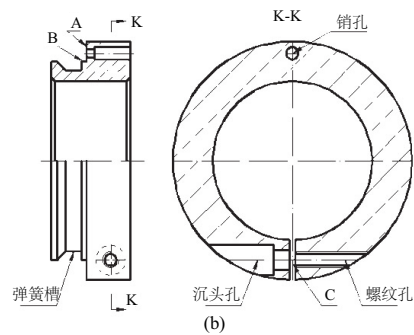
4 蝶形刀固定装置形变实验分析

4.1 实验设备

本文实验设备采用常规圆度测试和表面跳动测试,如图 10 所示。



(a)



(b)

图 10 刀座实验设备安装图

4.2 实验结果

刀座精度检测结果如表 2 所示。

表 2 刀座精度检测结果 单位:mm

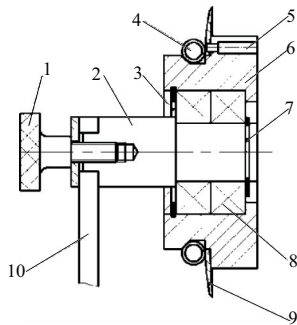
名称	端面(A面)跳动	圆柱面(B面)跳动
刀座 1	0.035	0.030
刀座 2	0.036	0.029
刀座 3	0.035	0.030
刀座 4	0.034	0.025
刀座 5	0.036	0.033

4.3 实验结果分析

根据显示刀座上端面 A 的跳动量和外圆 B 的圆度超差严重,刀座的端面(A 面)和圆柱面(B 面)是碟形刀片的安装定位基准,测试端面 A 的跳动量为 0.035 mm,外圆 B 的圆度为 0.028 mm,基本符合仿真分析结果。同时也说明,目前的装置在分切过程中,端面跳动量超过了 0.015~0.025 mm 的区间,需要进行优化。

5 优化方案设计

为提高刀座在套筒上工作时的刚度,减小碟刀片震动,仅通过加工工艺的优化很难弥补结构上的不足。因此在结构设计上取消径向槽,将刀座与套筒相结合,直接采用轴承支撑刀座^[9-10],同时又能满足使用要求。本文提出优化后的刀座组件装配图如图 11 所示。



1—锁紧螺钉;2—支轴;3—孔用弹性挡圈;4—弹簧;
5—定位销;6—刀座;7—轴用弹性挡圈;8—轴承;
9—碟刀片;10—弧形板。

图 11 优化刀座装配图

改进后实验测试结果如表 3 所示。

表 3 改进后刀座精度检测结果 单位:mm

名称	端面(A 面)跳动	圆柱面(B 面)跳动
刀座 1	0.020	0.005
刀座 2	0.019	0.006
刀座 3	0.020	0.005
刀座 4	0.015	0.004
刀座 5	0.023	0.006

将优化后的刀座应用在 BLFQ850 型高速薄铝箔剪切机上之后,如图 12 所示,分切后铝箔边部无毛刺、翘边,成品质量显著提高。

6 结语

本文通过对 BLFQ850 高速薄铝箔剪切机的碟形刀装置进行 ABAQUS 有限元仿真分析,完成以下工作:1)完成



图 12 优化刀座实际工作图

了适合于 ABAQUS 有限元仿真分析 BLFQ850 高速薄铝箔剪切机的碟形刀装置三维模型建立,简化出碟刀片、刀座、支轴的有限元模型,降低了分析难度。2)完成了碟形刀装置的有限元仿真分析。由分析结果发现,刀座在螺栓紧固夹紧之后,径向槽另一侧所受应力最大,为 29.67 MPa;径向槽开口处变形最大,最大变形量为 0.041 8 mm,碟刀片定位基准面最大变形处为橙色区域,最大变形量为 0.034 7 mm。其中基准面变形是导致刀片在切削时发生震动的主要原因。3)完成了实验测量,测量的变形量与仿真分析结果基本一致,仿真结果符合实验数据。4)提出一种优化方案,利用不开槽的刀座装置取代原有的结构,提高碟片刀装置的整体刚性,将基准面跳动量降低到 0.020 mm,降低了切削过程中的震动,大幅度提高了加工质量。

参考文献:

- [1] 杨燕. 包装用铝箔市场发展综述[J]. 铝加工, 2006(3): 48-50.
- [2] 郑雅宏,李继强,张学昌,等. 铝箔分卷机脱料机构的改造与仿真[J]. 食品与机械,2015,31(1):107-110.
- [3] 郑雅宏. 高速铝箔分卷机的数字化建模与静态分析及优化[D]. 太原:太原科技大学,2015.
- [4] 李铁. 铝箔分卷机的结构设计[J]. 机械设计与制造, 2005(12):120-122.
- [5] VALENZUELA M A, BENTLEY J M, LORENZ R D. Sensorless tension control in paper machines[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,2003,39(2):294-304.
- [6] 石亦平,周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [7] 杨国安. 机械振动基础[M]. 北京:中国石化出版社,2012.
- [8] 杜君宪,石晓娟. 影响铝箔分切质量的因素分析[J]. 机械设计与制造,2008(4):222-223.
- [9] 全明. 电子铝箔剪切工序中的质量控制研究[J]. 有色金属加工,2010,39(3):33-35,29.
- [10] SONG Y M, TIAN G C, ZHANG J, et al. Prediction for dynamic characteristics of ring-plate planetary indexing cam mechanism[J]. Transactions of Tianjin University, 2009, 15(4): 249-254.

收稿日期:2020-10-28