

单轴对称型柔性铰链的有限元分析*

徐丽平 杨雪春

(黎明职业大学 机电工程与自动化学院,福建 泉州 362000)

【摘要】对几种常用的单轴对称型柔性铰链的内部应力和转动柔度进行有限元分析比较,该方法分析了在柔性铰链最小厚度相同的情况下,切口形状和大小对柔性铰链的内部应力和转动柔度的影响,对微位移机构中柔性铰链的设计应用具有实际的数据参考价值。

【关键词】柔性铰链;有限元;内部应力;转动柔度

【中图分类号】TH132.45 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2014)01-0048-03

1 引言

自20世纪60年代以来,国内外学者、科研院所及研究机构利用计算机辅助技术从误差分析、应力分析、综合性能、应用场合、铰链结构模型优化等多方面对柔性铰链进行了研究,为后续研究提供了可靠的参考,但是大多数对柔性铰链的分析研究都是针对同一种切口形状的柔性铰链。本文采用参数化的有限元方法建模,首次对五种常用的单轴对称型柔性铰链的内部应力进行有限元分析,比较了在改变柔性铰链几何参数的情况下,切口形状和切口宽度对铰链的转动柔度和内部应力的影响,为微位移机构中柔性铰链的优化和应用提供实际参考。

2 柔性铰链的转动柔度(刚度)

柔性铰链工作原理图如图1所示。b为柔性铰链的宽度,t为最小厚度,R为切口半径,高度为h,圆心角为 θ 。

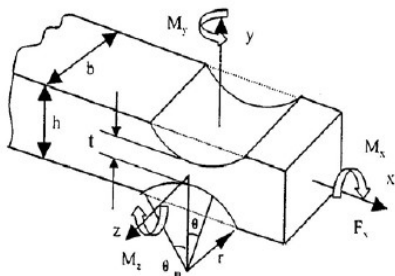


图1 柔性铰链工作原理

柔性铰链沿Z轴方向上的转动刚度(柔度)是柔性铰链最重要的设计参数。Paros和Weisboro给出了在柔性铰链的最小厚度t远小于柔性铰链的高度h和切口半径R时的简化公式^[1]。若固定柔性铰链的左端,柔性铰链右端在y方向上所受力为Fy,右端所受力矩为M,E为弹性模量,b为柔性铰链的宽度,右端的角变形为 α ,则柔性铰链的柔度计算公式为^[2]:

$$\frac{\alpha}{M} = \frac{9\pi R^{1/2}}{2Ebt^{5/2}} \quad \text{式(1)}$$

3 柔性铰链的设计

由于柔性铰链配合压电陶瓷驱动器可以实现纳米级微小位移,能在各种介质环境工作,因此柔性铰链在微位移工作台中得到了广泛应用。而用于微位移机构的柔性铰链的外形尺寸,宽度,最小厚度,切口大小等结构尺寸,又能较大地影响微位移工作台的性能^[3]。在柔性铰链的设计中,为了使微位移工作台具有良好的动态特性和抗干扰能力,要尽量增大柔性铰链的最小厚度,并减小其圆弧半径。然而,为了实现传动的高灵敏度和高分辨率,在保证强度要求的前提下,则需要适当增大柔性铰链的圆弧半径,并减小柔性铰链的最小厚度^[4]。

在施加载荷相同的情况下,为了定量地考察各个柔性铰链的柔度和精度,选用D点的偏移量来表征其柔度,而用中心点C的偏移量来表征其精度^[5]。如图2所示。用D点偏移量与C点偏移量之比 $\eta = y_D/y_C$ 表示柔性铰链的柔度精度比。在许用应力范围内,可视柔性铰链为线性系统,在此前提下 η 值越大,认为柔性铰链的性能越好^[6]。

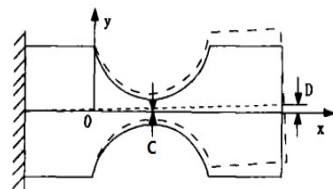


图2 柔性铰链变形示意图

本文所采用的柔性铰链模型为单轴对称型,截面形状为矩形,切口形状分别为圆形、椭圆形、V型和矩形,选用相同的材料,弹性模量206GPa,泊松比0.3。结构参数如表1所示。

收稿日期 2013-09-08

*基金项目 黎明职业大学校级课题资助项目(项目编号 1Z2011201)。

作者简介 徐丽平(1981-)女,安徽安庆人,讲师,硕士,研究方向 机械制造及其自动化。

表1 单轴对称型柔性铰链模型结构参数

编号	铰链名称	铰链模型	切口宽度 l(mm)	铰链厚度 t(mm)	铰链宽度 b(mm)
Sc	直圆型		8	1	2 6 8
So-1	宽切口椭圆形		12	1	2 6 8
So-2	窄切口椭圆形		10	1	2 6 8
Sv	V型		10	1	2 6 8
Sr	直梁型		8	1	2 6 8

4 有限元分析(FEA)

有限元分析是对物理现象(几何和载荷工况)的模拟,是对真实情况的数值近似。通过对分析对象划分网格,求解有限个数值来近似模拟真实环境的无限个未知量^[7]。本文所采用的柔性铰链模型为单轴对称型,截面形状为矩形,切口形状分别为圆形、宽切口椭圆形、窄切口椭圆形、V型和矩形,选用相同的材料,弹性模量206GPa,泊松比0.3。在研究过程中,利用有限元软件对五种单轴对称型柔性铰链进行实体建模和网格划分,设定约束条件、施加

载荷,并对柔性铰链结构的内应力进行仿真计算,得出分析结果,如图3至图7所示,并建立了在宽度b和最小厚度t的不同条件下,切口宽度和柔度精度比的关系图表,如表2所示。

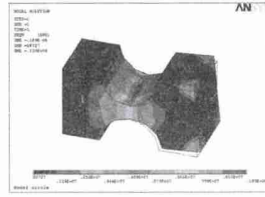


图3 Sc应力分析云图

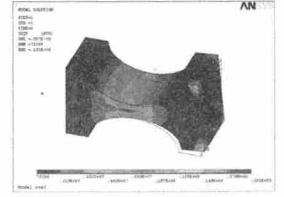


图4 So-1应力分析云图

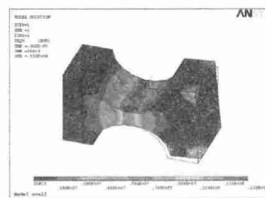


图5 So-2应力分析云图

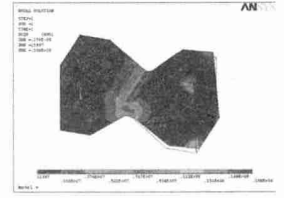


图6 Sv应力分析云图

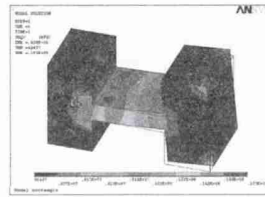


图7 Sr应力分析云图

表2 柔性铰链应力与柔度分析数据

编号	b=6						b=8								
	DMX 最大变形	Von mises stress 等效应力		Y-component of displacement Y轴 方向上位移		DMX 最大变形	Von mises stress 等效应力		Y-component of displacement Y轴 方向上位移		DMX 最大变形	Von mises stress 等效应力		Y-component of displacement Y轴 方向上位移	
		SMN	SMX	SMX	C点		D点	SMN	SMX	SMX		C点	D点	SMN	SMX
Sc	6.11E-06	87178	3.71E+07	5.51E-06	3.73E-07	5.41E-06	14.504	5.42E-06	54120	2.25E+07	4.89E-06	3.52E-07	4.83E-06	13.722	
So-1	2.38E-05	56349	6.77E+07	2.15E-05	1.65E-06	2.14E-05	12.97	1.76E-05	76390	5.02E+07	1.59E-05	1.20E-06	1.58E-05	13.167	
t=1 So-2	1.94E-05	47540	6.36E+07	1.75E-05	1.28E-06	1.74E-05	13.593	1.43E-05	54348	4.51E+07	1.28E-05	9.62E-07	1.27E-05	13.202	
Sv	9.97E-06	46887	7.89E+07	8.96E-06	7.73E-07	8.87E-06	11.475	7.48E-06	12389	5.87E+07	6.73E-06	6.24E-07	6.64E-06	10.641	
Sr	6.00E-05	107416	1.01E+08	5.44E-05	7.34E-06	5.43E-05	7.398	4.44E-05	85470	7.16E+07	4.02E-05	5.66E-06	4.01E-05	7.085	
Sc	3.09E-06	82717	1.74E+07	2.74E-06	2.42E-07	2.68E-06	11.074	1.89E-06	58727	1.03E+07	1.68E-06	1.74E-07	1.65E-06	9.483	
So-1	4.80E-06	57564	2.23E+07	4.27E-06	2.98E-07	4.16E-06	13.96	3.57E-06	72388	1.91E+07	3.18E-06	2.66E-07	3.07E-06	11.541	
t=2 So-2	4.05E-06	24415	1.75E+07	3.60E-06	2.46E-07	3.52E-06	14.309	3.02E-06	25613	1.33E+07	2.68E-06	1.74E-07	2.60E-06	14.942	
Sv	2.33E-06	22452	2.27E+07	2.07E-06	2.11E-07	1.99E-06	9.431	1.76E-06	11997	1.68E+07	1.56E-06	1.87E-07	1.48E-06	7.914	
Sr	8.58E-06	51622	2.64E+07	7.66E-06	1.14E-06	7.58E-06	6.649	6.36E-06	40437	1.83E+07	5.68E-06	8.14E-07	5.61E-06	6.892	

根据数据的分析对比,得出以下结论:

- (1)当b、t增大时,转动柔度减小。符合一般解析式中柔性铰链转动柔度和b与t的关系。
- (2)直圆型柔性铰链的性能比较稳定,呈线性。
- (3)柔性铰链的最小厚度对直梁型的柔性铰链的柔度和精度影响很大,并且在这五种铰链中性能始终最差,但是当最小厚度比较小时,其有良好的柔度。

(4)窄切口椭圆形柔性铰链的性能较好,始终保持较高的柔度精度比。

(5)V型柔性铰链的性能一般,但是内部应力比较小。

5 结论

在所设置的材料及结构参数条件下,这五个柔性铰链的内部应力、柔度、精度以及柔度精度比的数据对用于微位移机构的柔性铰链的设计有实际

的参考意义。但是,在设计过程中仍需要明确设计目标,对相关参数进行反复比较和调整,才能最终达到设计要求。文章讨论的是改变结构参数对柔

性铰链内部应力和转动柔度的影响,后续将针对改变柔性铰链内部参数对柔性铰链内部应力和转动柔度及铰链性能的影响做进一步的深入研究。

注释及参考文献：

[1]吴鹰飞,周兆英.柔性铰链的计算和分析[J].机械设计与研究,2002,18(3):29-30.

[2]Paros J.M,Weisboro L. How to design flexure hinges[J]. Machine Design,1965,37(27):151-157.

[3]陈时锦,杨元华,孙西芝,等.基于柔性铰链的微位移工作台性能分析与优化设计[J].机械设计,2004,21(7):46-48.

[4]李玉和,李庆祥,陈璐云.单轴柔性铰链设计方法研究[J].清华大学学报(自然科学版),2002,42(2):172-174.

[5]W. Xu and T. G. King. Mechanical amplifier design for piezo-actuator applications[C].The Institution of Electrical Engineers, 1995:1-5, 1995.

[6]陈贵敏,贾建援,刘小院,等.柔性铰链精度特性研究[J].仪器仪表学报,2004,25(4):107-109.

[7]薛风先,胡仁喜,康士廷.ANSYS12.0机械与结构有限元分析从入门到精通[M].北京:机械工业出版社,2010.3.

The Finite Element Analysis of Uniaxial Symmetry Flexure Hinges

XU Li-ping, YANG Xue-chun

(College of Electrical Engineering and Automation, Liming Vocational University, Quanzhou, Fujian 362000)

Abstract: The finite element analysis and comparison of internal stress and rotational compliance were carried out on several common uniaxial symmetry flexure hinges. The same minimum thicknesses of flexure hinges are analyzed to demonstrate the effect of the internal stress and rotational compliance with different shape and size of the notch in the flexure hinges. The results provide reference data and have practical value for the application of flexure hinges in micro-displacement mechanism.

Key words: flexure hinge; finite element; internal stress; rotational compliance