

基于ANSYS Workbench的固晶臂机构 柔性动力学分析*

全大鹏, 李建勇*, 王 恒, 马丽梅

(北京交通大学 机械与电子控制工程学院, 北京 100044)

摘要: 针对固晶机设备对固晶机构的高速、高稳定性要求, 基于采用曲柄摇杆结构的固晶机构的三维实体模型, 以ANSYS Workbench有限元分析软件为基础, 利用ANSYS Workbench-ADAMS联合仿真及ANSYS Workbench的静力、动力学仿真模块这两种柔性动力学分析方法, 对固晶臂机构末端工作位置的运动、动力学特性进行了仿真分析。研究表明, ANSYS Workbench模块仿真方法与Workbench-ADAMS联合仿真相比, 仿真结果具有一致性, 但其仿真过程相对简单, 便于操作; 其仿真结果可为固晶机构后续的设计优化提供依据。

关键词: 固晶机; 四连杆机构; 有限元分析; 柔性动力学分析; ANSYS Workbench; ADAMS

中图分类号: TH122 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)10-1146-04

Flexible dynamics analysis of die-bonder arm based on ANSYS Workbench

QUAN Da-peng, LI Jian-yong, WANG Heng, MA Li-mei

(School of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Aiming at the rapid, high stability requirements of die-bonder, based on the 3-dimensional solid model of die-bonder structure with crank-rocker structure and ANSYS Workbench finite element analysis software, two flexible dynamic analysis methods, co-simulation of ANSYS Workbench-ADAMS and co-simulation of ANSYS Workbench modules, were used to study the statics and dynamics characters of the end work position of die-bonder arm. The result shows that the ANSYS Workbench method can obtain the same result compared to the ANSYS Workbench-ADAMS combination simulation method, but it has a much simpler process, and the subsequent optimization design scheme can be obtained based on these results.

Key words: die-bonder; four-bar linkage; finite element analysis (FEA); flexible dynamics analysis; ANSYS Workbench; ADAMS

0 引 言

中国半导体产业的飞速发展, 为半导体设备业带来广阔的市场, 国内从事半导体设备开发与生产的企业正在迅速增加。固晶机作为半导体后续封装工序的关键设备之一, 具有高速、高精度、高稳定性等特点, 且对其性能要求也越来越高。固晶机构作为固晶机的主要运动机构, 对固晶机的性能起着决定性的作用。

文献[1]讨论了新型固晶机固晶臂的不同几何布局及其对生产效率的影响; 文献[2-3]从机械结构、电控技术、工艺功能介绍固晶机新技术; 文献[4-7]介绍了一种并联运动执行机构固晶臂, 其定位精度好, 但运动效率较低且控制复杂; 文献[8-13]介绍了连杆机构弹性动力学分析的方法和步骤, 以及一些优化方案。

本研究以采用曲柄摇杆结构传动的固晶臂为研

收稿日期: 2012-05-07

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2009JBM152)

作者简介: 全大鹏(1986-), 男, 山东青岛人, 主要从事机电装备仿真与控制方面的研究。E-mail: 10121484@bjtu.edu.cn

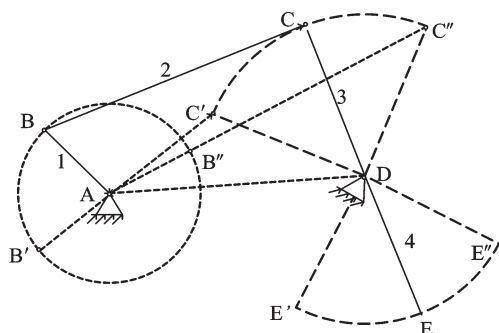
通信联系人: 李建勇, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: jyli@bjtu.edu.cn

究对象,以减少臂端的振动、提高响应速度为目标,利用ANSYS Workbench-ADAMS联合仿真以及ANSYS Workbench模块间仿真这两种方法对不同参数下的结构进行动力学分析,为提高固晶机的性能提供一种有效途径。

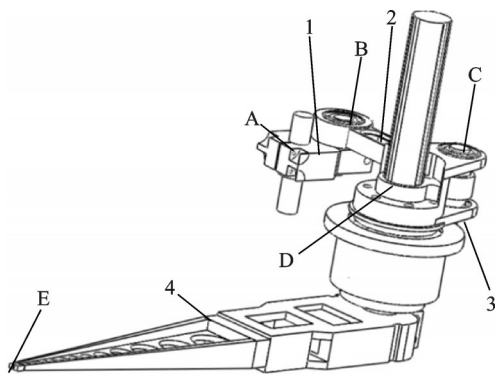
1 固晶机构

固晶结构可有多种形式,而曲柄摇杆机构具有输出轴在两极限位置处角速度为零的优点,现阶段固晶机的固晶臂一般都是采用曲柄摇杆机构传动,采用四连杆机构的奇异点位置作为取晶和固晶的工作位置。

曲柄摇杆机构的原理图如图1(a)所示,其中A、B、C、D为转动副,A、D固定在机架上。1杆为驱动曲柄,2为连杆,3为摇杆,其延长线杆4为固晶臂运动的工作杆件。电机驱动曲柄1在B'和B''之间运动,带动摇杆3在C'和C''之间做 θ 角摆动,相应地固晶臂的工作杆件4在E'和E''之间做 θ 角摆动。



(a) 固晶机构原理图



(b) 固晶机构三维实体图

图1 固晶臂原理图及三维实体图

来自深圳某自动化设备有限公司的固晶机构的实体三维模型如图1(b)所示,其各自的运动副与连杆的标注与原理图1(a)相同,A、B、C、D为相应的旋转副,1、2、3为相应的杆件,固晶点E位于摆臂4的末端,实现取晶、固晶操作动作。

曲柄摇杆机构各构件尺寸之间的关系如下:

$$l_{ab} = l_{cd} \sqrt{(1 - \cos \theta)/2} \quad (1)$$

$$l_{bc} = \sqrt{(1 - \cos \theta)/(2 \cos^2 \lambda_{\min})} \quad (2)$$

$$l_{cd} = \sqrt{(1 - l_{bc}^2)/(1 - l_{bc}^2 \cos^2 \lambda_{\min})} \quad (3)$$

其设计目的是使机构运转的最小传动角具有最大值,且最好处于非工作行程中。根据机械设计手册,机构运转最小传动角容许值应按受力情况、运动副间隙、摩擦、速度等而定,一般而言高速机构传动角不小于 50° 。按最小传动角最大值原理,本研究采用0型曲柄摇杆机构,旋转摆臂 $\theta = 90^\circ$,最小传动角出现在曲柄与机架共线的两个位置,且大小相同。若令机架杆长 $l_{ad} = 1$,可以分别确定曲柄 l_{ab} 、连杆 l_{bc} 、摇杆的杆长 l_{cd} ,进而根据下式确定该机构的最小传动角:

$$\gamma_{\min} = \arccos((l_{ab} \cdot l_{bc})/(l_{cd} \cdot l_{da})) \quad (4)$$

2 柔性体表示

不同于普通刚体,柔性体是用离散化的若干单元有限节点自由度来表达物体无限多自由度的。采用有限元模型表达柔性体时,以节点广义坐标作为未知量,若节点广义坐标以 $u_i(t)$ 表示,则任一点唯一可以通过型函数和广义坐标来表示:

$$\begin{cases} V(\bar{x}, t) = \sum_{i=1}^n u_i(t) \phi_{vi}(\bar{x}) \\ W(\bar{x}, t) = \sum_{i=1}^n u_i(t) \phi_{wi}(\bar{x}) \end{cases} \quad (5)$$

式中: n —节点处广义坐标总数; $\phi_{vi}(\bar{x})$ 、 $\phi_{wi}(\bar{x})$ —型函数; $V(\bar{x}, t)$ —纵向位移函数; $W(\bar{x}, t)$ —横向位移函数。

忽略界面转动动能,用拉格朗日方程得出单元动能表达式为:

$$T = \frac{1}{2} \int_0^L m(\bar{x}) [\dot{W}_a(\bar{x}, t)]^2 d\bar{x} + \frac{1}{2} \int_0^L m(\bar{x}) [\dot{V}_a(\bar{x}, t)]^2 d\bar{x} \quad (6)$$

式中: $\dot{W}_a(\bar{x}, t)$ 、 $\dot{V}_a(\bar{x}, t)$ —横向和轴向绝对速度; $m(\bar{x})$ —质量分布函数。

根据材料力学得到变形:

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L EJ(\bar{x}) [W''(\bar{x}, t)]^2 d\bar{x} + \frac{1}{2} \int_0^L EA(\bar{x}) [V'(\bar{x}, t)]^2 d\bar{x} \quad (7)$$

式中: $J(\bar{x})$ 、 $A(\bar{x})$ —两单元界面惯性矩函数和面积函数; E —材料弹性模量; $W''(\bar{x}, t)$ —一点横向位移对 $\bar{x}$ 的2阶导数; $V'(\bar{x}, t)$ —一点纵向位移对 $\bar{x}$ 的1阶导数。

由拉格朗日方程得到单元运动微分方程为:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}} \right) - \frac{\partial T}{\partial u} + \frac{\partial U}{\partial u} = \bar{P} \quad (8)$$

式中: u —广义坐标阵列, $\bar{P}$ —广义坐标力阵列。

3 柔性动力学运动仿真

3.1 ANSYS与ADAMS联合仿真

传统意义上的刚柔耦合仿真是在ANSYS经典^[14]里对实体进行网格划分,设定刚性连接点,导出与ADAMS接口的中性MNF文件;之后再导入到ADAMS中替换刚性结构求解。操作过程为:①在ANSYS的Static Structure模块中导入实体模型;②在Geometry激活时选取欲实体连接点处特征建立质量点(Point Mass)设定为刚体;③添加约束后,在项目主流程图里,利用Model和Setup数据新建一个Mechanical APDL,其已经自动完成网格、界面连接点、区域刚性化等操作;④删除受力条件后设置刚性界面点,直接选择导出ADAMS接口的MNF模态文件。

在ADAMS软件中,本研究用Build→Flex→Rigid to Flex功能,将生成的MNF文件替换掉相应刚性构件后,靠界面点将柔性体与其他部件相连接。接着根据实际工作情况,添加运动副驱动函数,进行仿真计算,得到相关的结果后通过导出FEA Lords文件,生成节点的载荷文件。研究者如欲进行应力应变分析,则可在ANSYS中向柔性体中添加对应时刻的载荷,进行应力应变求解。

本研究建立的固晶机构仿真模型如图2所示。

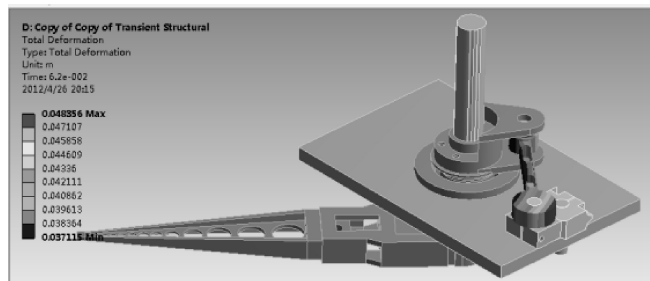


图2 固晶臂仿真模型

3.2 应用Workbench瞬态动力学模块进行刚柔耦合仿真

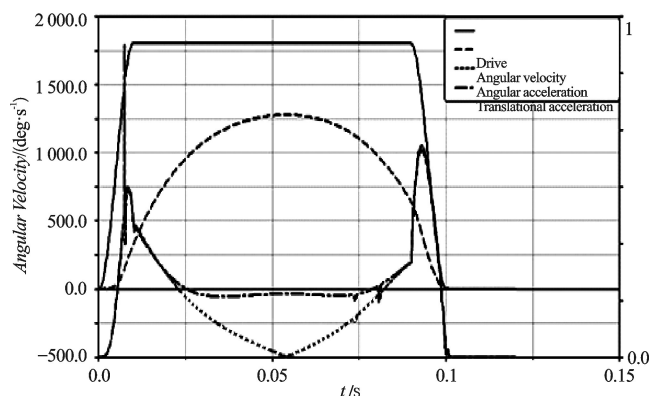
Workbench具有良好的界面环境和便捷的操作方式,它对于复杂结构建模、修改、界面点的确定非常方便易行,采用Workbench生成模态中性文件的方法大大提高了操作效率、质量和速度。研究者在ANSYS软件Rigid Dynamic模块推出以后,可以方便地在ANSYS Workbench环境下完成刚柔耦合仿真分析的任务。其继承了Workbench与CAD软件间良好参数衔接特点、良好的用户操作界面,且大大减少了在传统刚柔耦合中,ANSYS与ADAMS之间中间文件相互转化的繁琐过程,大大提高了工作效率。

在Rigid Dynamic模块中,研究者需要设定材料、

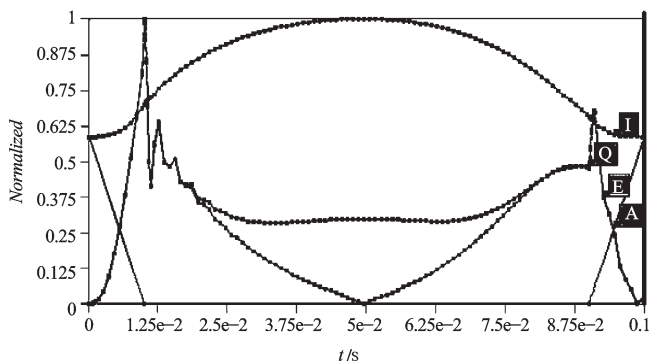
模型、零件特性,定义连接、边界条件、力等,还要设定求解步长、非线性控制等。另外,通过求解及结果审查,可以帮助分析。

4 仿真结果分析

ANSYS-ADAMS联合仿真结果如图3(a)所示,ANSYS Workbench仿真结果如图3(b)所示。图3(a)中曲线粗实线、细实线、虚实线、点划线分别代表驱动角速度、摆臂末端角速度、末端加速度、角加速度。由图可知,运动过程0.01 s及0.09 s处为驱动角速度变化点,相应地出现加速度及角加速度峰值,角加速度约达到135 000 d/s²;另外,在0.08 s附近加速度有约2%~5%波动,推测跟运动副的装配有关。对于响应峰值,研究者可以通过控制驱动力输入来提高机构运行平稳性。



(a) ANSYS-ADAMS联合仿真结果



(b) ANSYS Workbench仿真结果

图3 仿真结果曲线图

图3(b)中,A、I、Q、E曲线分别代表驱动角速度、摆臂末端角速度、加速度、角加速度。由图可知,在0.01 s之后,系统的角加速度出现峰值(2 022.9 rad/s²),在0.09 s处也有小峰值出现,两者均为驱动角速度的转折点。

原方案Workbench仿真振动曲线如图4所示。为减少固晶臂末端的振动幅度,本研究增加旋转副的阻尼1 Nms/°,可得到固晶臂末端角加速度仿真结果,如图5所示。与改进前相比,在0.1 s之后的末端振动情况明显改善,角加速度峰值(1 767.8 rad/s²)提高

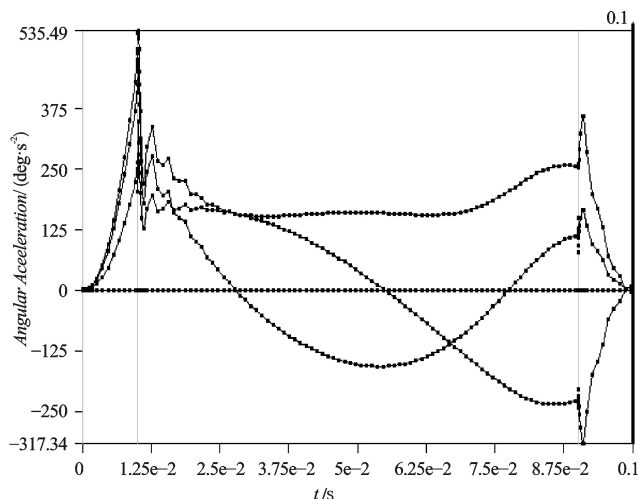


图4 原方案 Workbench 仿真振动曲线

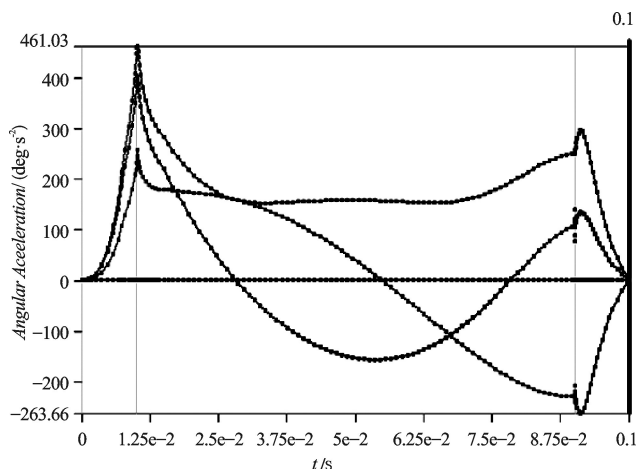


图5 加阻尼后 Workbench 仿真振动曲线

12.6%, 0.9 s 处的角加速度小峰值也明显得到优化。后续的优化方案还需继续深入。

5 结束语

本研究介绍了两种柔性动力学仿真方法,以固晶机构作为分析载体,选取了四杆机构的连杆作为柔性体选择对象分别进行机构仿真分析,且在 ANSYS Workbench 柔性动力学仿真的基础上对机构参数进行改进,机构的动态性能得到了显著提高:

(1) 传统的 ANSYS-ADAMS 联合仿真方法,用 ANSYS 传统界面操作,而本研究采用 ANSYS Workbench 模块生成中间模态文件,极大地降低了操作复杂度。该方法在已查阅的文献中尚未出现。

(2) 对比 ANSYS-ADAMS 联合仿真及 ANSYS Workbench 模块间仿真得到的结果曲线图可知,两种计算方法结果的趋势基本一致,但存有略微的误差。

(3) ANSYS-ADAMS 联合仿真的操作步骤略显复杂,但是应用经典的方法相对可靠;ANSYS Workbench 模块间仿真操作时,结果曲线点的稀疏程度由步长控制,若步长等设置不合适,可能使得求解无效。

本研究所述固晶机构的动态响应特性,还需通过调整部件结构、参数或驱动力输入等进一步优化。这两种柔性动力学分析思路为整体结构的柔性动力学分析提供了方法,为后期整个结构的优化以及性能提高提供了途径。

参考文献(References):

- [1] 刘洋,邴守东. 粘片机布局及关键机构技术研究[J]. 电子工业专用设备, 2009, 38(7): 29-32.
- [2] 周庆亚. LED 平面固晶机新技术介绍[J]. 电子工业专用设备, 2010, 39(5): 17-19.
- [3] 郭强生. 线性电机在高速粘片机芯片拾放机构中的应用[J]. 电子工业专用设备, 2006, 35(10): 44-48.
- [4] 李克天,陈新,刘吉安,等. IC 芯片粘片机并联机构焊头部件的设计及优化[J]. 中国机械工程, 2008, 19(10): 1160-1162.
- [5] 彭卫东,陈新,李克天,等. IC 芯片粘片机并联焊头机构的结构参数优化[J]. 机械设计与制造, 2007(11): 45-47.
- [6] 彭卫东,陈新,李克天,等. IC 芯片粘片机并联焊头机构的弹性动力学分析[J]. 机械科学与技术, 2007, 26(11): 1418-1421.
- [7] 彭卫东,陈新,李克天,等. IC 芯片粘片机并联焊头机构的静刚度分析[J]. 机械设计与研究, 2006, 22(2): 100-102.
- [8] 陈丽云. 弹性四连杆组合臂架系统的结构优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学机电工程学院, 2007.
- [9] 倡海燕,王海明. 应用四连杆机构的粘片机键合头设计[J]. 电子工业专用设备, 2007, 36(12): 40-42.
- [10] 张玉莲,郑雄胜,赵虎城. 柔性四杆机构动力学行为研究[J]. 机械设计, 2004, 21(10): 46-48.
- [11] 陈云飞,范钦满. 弹性四连杆机构动力学的近似分析及低阶谐振现象的研究[J]. 机械科学与技术, 1999, 18(4): 35-36.
- [12] 肖博,郭建生. 基于多体分析的四连杆臂架系统变幅过程研究[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2010, 32(1): 74-77.
- [13] 叶奇,孙鹏文,张敏. 发动机曲柄连杆机构多体动力学建模的若干问题[J]. 机电工程, 2007, 24(12): 53-55.
- [14] 王欢,李兴根. 基于 ANSYS 的增强型混合式步进电动机的静转矩分析与计算[J]. 轻工机械, 2012, 30(1): 63-66.

[编辑:张翔]