

Study on Micro-Deformation of K9 Glass at Room, Low and Medium Temperature

Tianyi Jiao, Xiuyan Chen*, Peng Gao

College of Physics Science and Technology, Shenyang Normal University, Shenyang Liaoning
Email: 2569591666@qq.com, *haomisschen@163.com

Received: Feb. 23rd, 2019; accepted: Mar. 7th, 2019; published: Mar. 14th, 2019

Abstract

K9 glass is one of the most important and commonly used components in modern optical systems. In order to study the effect of micro deformation on optical system imaging at room, medium and low temperature, a geometric model with diameter of 40 mm and thickness of 2 mm was constructed. The ANSYS finite element analysis method was used to simulate the micro deformation and thermal strain of K9 glass under two conditions, one was keeping the ambient temperature constant, meanwhile changing the temperature of the thermal load, the other was that keeping the temperature of the thermal load constant, meanwhile changing the ambient temperature. When the ambient temperature was 18°C, the thermal deformation of K9 glass increased about 170 nm at every 1°C increase of the thermal load. When the thermal load temperature was fixed at 35°C, the thermal deformation of glass increased about 1170 nm as the environmental temperature increasing every 10°C. In addition, the simulation results are combined with laser speckle interference, and the changes of optical path imaging were simulated and analyzed when the thermal deformation was 0.1 μm, 0.25 μm and 0.35 μm. It was concluded that the micro deformation of K9 glass at room, low and medium temperature had an important influence on the imaging of optical system, and the micro displacement of the lens provides a method of laser speckle interference. The research provided a reference for the of optical system imaging at a region with greater temperature difference and the imaging of the optical system at room temperature and medium low temperature by heat source, and also provided a basis for the study of the subsequent related optical elements.

Keywords

K9 Glass, ANSYS Finite Element Analysis, Micro Deformation, Thermal Strain, Laser Speckle Interference

室温及中低温度下K9玻璃镜片的微小形变研究

焦天乙, 陈秀艳*, 高朋

沈阳师范大学物理科学与技术学院, 辽宁 沈阳

*通讯作者。

摘要

K9玻璃是现代光学系统中重要而常用的元件之一,为了研究其室温及中低温环境下微小形变对光学系统成像的影响,构建了直径为40 mm,厚度为2 mm的几何模型,利用ANSYS有限元分析法分别对环境温度一定、热载荷温度变化和热载荷温度一定、环境温度变化两种情况下K9玻璃微小形变与热应变进行模拟分析。在环境温度为18°C时,热载荷每升高1°C,K9玻璃热形变约增加170 nm,当热载荷温度为35°C,环境温度平均每变化10°C时,玻璃热形变量约为1170 nm。进一步将此模拟结果与激光散斑干涉仪相结合,模拟分析了热形变在0.1 μm 、0.25 μm 、0.35 μm 时,干涉光路成像的变化,得出了K9玻璃室温及常温下微小形变对光学系统成像具有重要影响的结论,同时也为镜片微小位移提供了激光散斑干涉测量的方法。该研究对温差较大地区光学成像系统成像以及热源对光学系统室温和中低温环境成像提供了参考依据,同时也为后续相关光学元件微形变研究提供了研究基础。

关键词

K9玻璃, ANSYS有限元分析, 微小形变, 热应变, 激光散斑干涉

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

K9玻璃镜片是一种现代常见的重要光学材料,它被广泛应用于各种光电实验中。目前,针对K9玻璃损伤与探测研究主要集中于高功率激光作用下的理论模拟与实验研究,如:2002年,罗福等报道了光斑尺寸对K9玻璃近红外激光损伤阈值的影响[1];2010年,刘红婕等报道了熔石英表面热致应力对激光损伤行为影响的研究[2];2011年,彭志涛等报道了全内反射照明光学元件损伤检测信噪比分析[3];2017年,易琮等报道了高能激光与K9玻璃相互作用仿真实验研究[4]。实际上,K9玻璃镜片不仅在高温高功率条件下的损伤会对光路造成严重后果,在日常教学与科研工作中,环境温度、外界作用条件的变化对玻璃镜片也是有一定的影响的,很多光电实验都是在室温及中低温环境条件下进行的。因此,研究此时镜片形变在光场中是否可以忽略不计以及对光路的影响和检测其变化有一定意义。

根据以上研究现状,本文对K9玻璃镜片在室温及中低温环境条件下的形变进行了模拟分析,采用ANSYS有限元分析软件。2008年,刘一兵等介绍了ANSYS软件的关键技术及热分析研究[5]。2016年,周浩等进一步介绍了ANSYS有限元分析软件在热分析中的应用[6]。本文利用ANSYS有限元分析软件分别对环境温度18°C下镜片热源20°C~35°C、镜片热源35°C而环境温度-28°C、-18°C、-8°C、0°C、8°C、18°C、28°C两种情况下,K9玻璃镜片的总变形量以及热应变进行了模拟分析,进一步结合激光散斑干涉法对物体微小形变进行测量,分析了K9玻璃形变对干涉仪光路的影响。

2. K9玻璃模型建立与热形变分析

首先,热分析可以分为稳态传热及瞬态传热两种方式。本文采用的是稳态传热方式。如果系统的净

热流率为 0，即流入系统的热量加上系统自身产生的热量等于流出系统的热量： $q_{\text{流入}} + q_{\text{生成}} - q_{\text{流出}} = 0$ ，则系统处于热稳态。在稳态热分析中任一节点的温度不随时间变化。稳态热分析的能量平衡方程为(以矩阵形式表示) [7]:

$$[K(T)]\{T\} = \{Q(T)\} \quad (1)$$

其中 $[K(T)]$ 为传导矩阵，包含导热系数、对流系数、辐射率和形状系数； $\{T\}$ 为节点温度向量； $\{Q(T)\}$ 为节点热流率向量，包含热生成。ANSYS Workbench 中利用模型几何参数、材料热性能参数以及所施加的边界条件，生成 $[K(T)]$ 、 $\{T\}$ 以及 $\{Q(T)\}$ [7]。

在 K9 玻璃镜片(直径为 40 mm，厚度为 2 mm)中心半径为 10 mm 的圆范围区域内加上载荷即热源，环境温度为 18°C 时，模拟了施加载荷温度从 20°C 到 35°C 每隔 1°C 对 K9 玻璃镜片的作用，得到了 K9 玻璃镜片的总变形量云图与数据，如图 1、图 2、图 3。

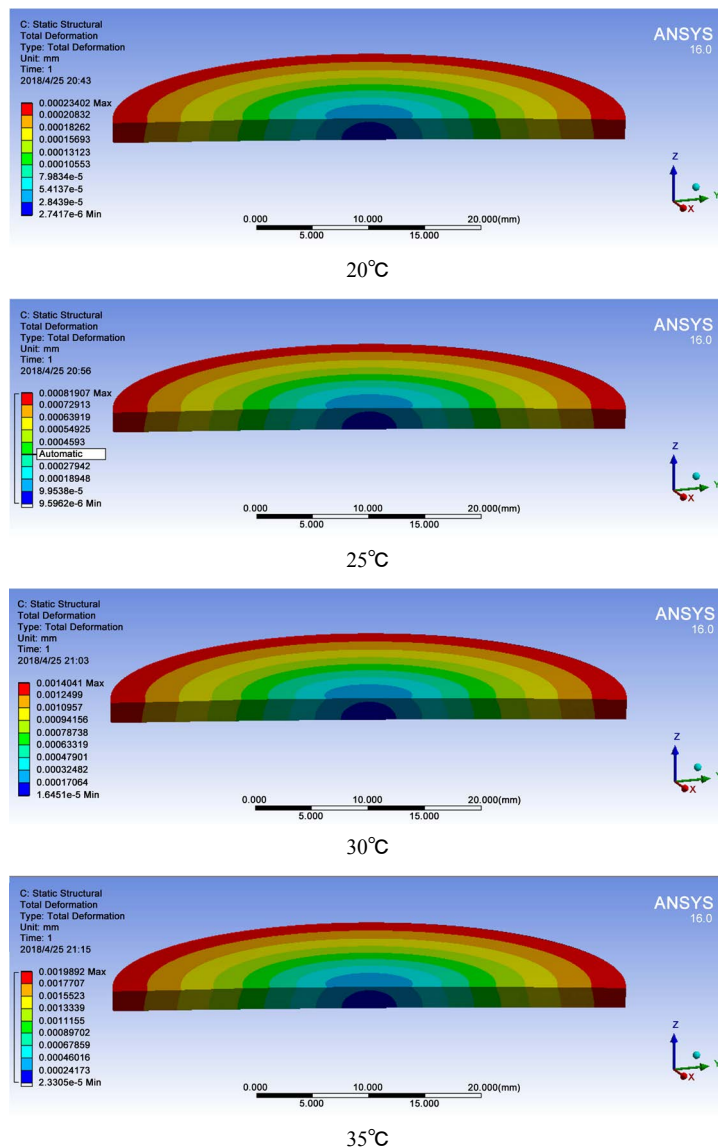


Figure 1. Deformation of K9 glass under different heat source temperature
图 1. 不同热源温度下 K9 玻璃镜片总变形量截面的云图

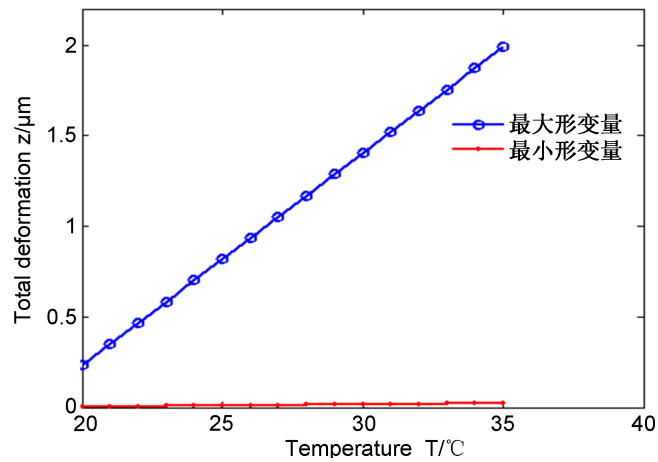


Figure 2. The relationship between maximum and minimum deformation of K9 glass and the temperature
图 2. K9 玻璃镜片最大与最小形变量与温度的关系

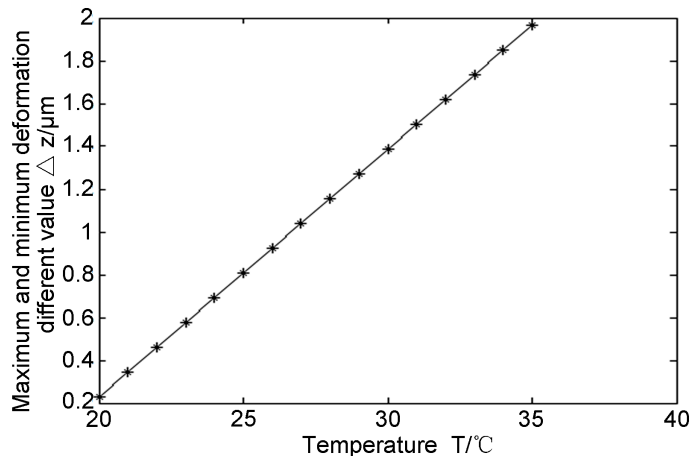
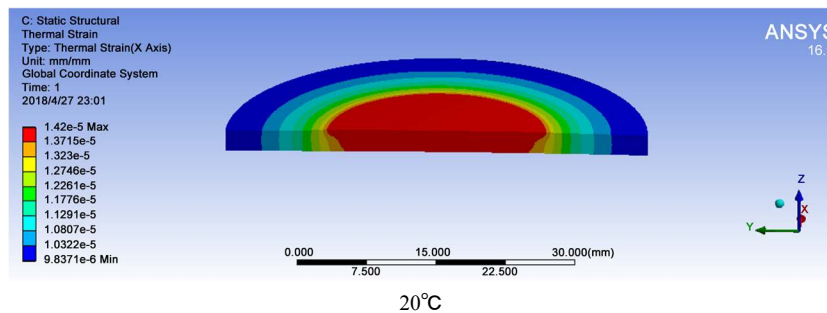


Figure 3. The different value of maximum and minimum deformation for K9 glass under different temperature
图 3. K9 玻璃镜片最大与最小形变量的差值与温度的关系

由上图可知，热源温度越高，变形量越大，且最大形变量与最小形变量都呈线性增加，其中最大变形量增加的斜率大一些。最大与最小形变量的差值也是呈线性增大的。热源每升高 1°C：最大形变量增加约 0.17 μm，最小形变量增加约 0.001371 μm。

图 4 为环境温度为 18°C 时，不同热源温度下 K9 玻璃的热应变图。可以看出，中心和边缘的变形差较大。随着温度的升高，镜子受到的热应力也是加大，进而产生热应变。应力和应变的增大，一方面增加了镜子损坏和断裂的风险，另一方面如果是在光路中，对光路成像的影响也是不容忽视的。



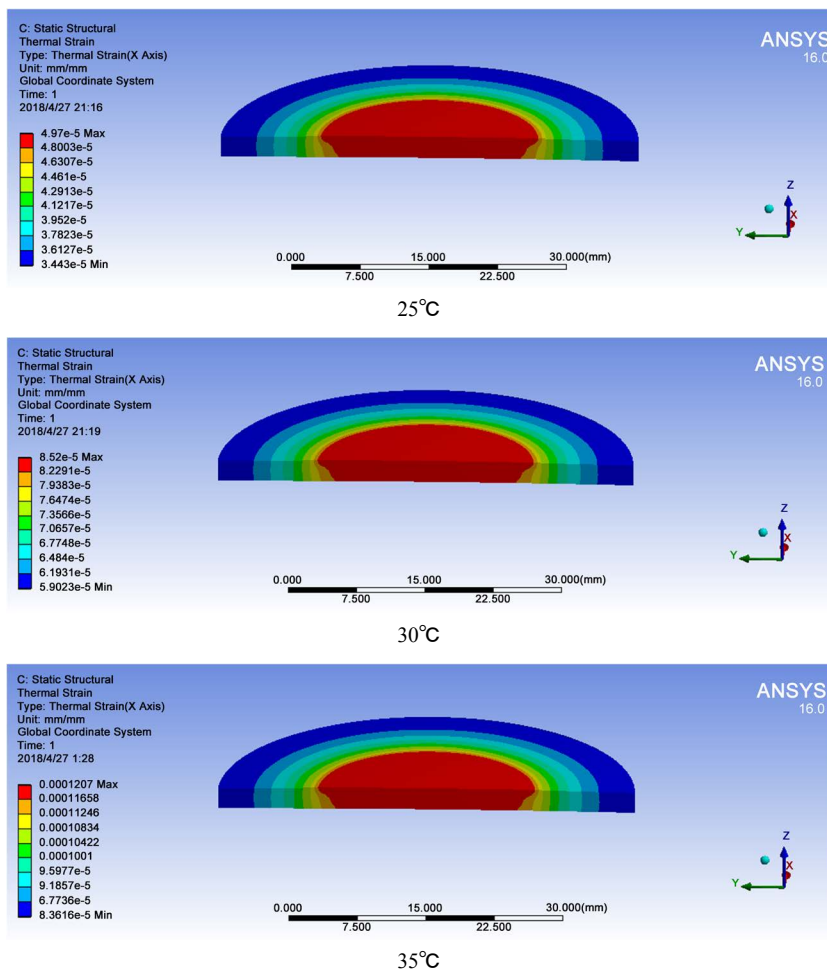


Figure 4. Thermal strain of K9 glass under different heat source temperature

图 4. 不同热源温度下, K9 玻璃镜片热应变截面的云图

当载荷热源保持 35°C , 改变镜片周围环境温度, 同样可以发现环境温度升高也会造成玻璃镜片的形变, 如表 1。环境温度每升高 10°C , 玻璃镜片的最大变形量增加约 $1.17 \mu\text{m}$, 最小变形量增加约 $0.01371 \mu\text{m}$ 。与之前进行的模拟进行对比, 可发现热源温度比环境温度对玻璃镜片的变形影响大, 每升高 1°C , 热源温度比环境温度对镜片造成的形变量增加 $0.053 \mu\text{m}$ 。

Table 1. The relationship between total deformation of K9 glass and the ambient temperature

表 1. K9 玻璃镜片形变量与环境温度的关系

Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	Maximum Deformation/ μm	Minimum Deformation/ μm	Different Value/ μm
28	0.81907	0.0095961	0.8094739
18	1.9892	0.023305	1.965895
8	3.1593	0.03701	3.12229
0	4.0954	0.047981	4.047419
-8	5.0314	0.058947	4.972453
-18	6.2015	0.072656	6.128844
-28	7.3716	0.086366	7.285234

3. K9 玻璃微形变对激光散斑干涉仪成像的影响

利用 VirtualLab Fusion 软件模拟激光散斑干涉实验。图 5 是应用激光散斑干涉装置测量镜片 M2 热形变的光路图。当 M2 镜被加热后，由于形变，导致两光程不再相等，进而影响成像。通过理论计算，图 6(a)是等光程时两干涉光束在 CCD 处干涉条纹，图 6(b)~(d)分别是 M2 中心处形变量为 $0.1\ \mu\text{m}$ 、 $0.25\ \mu\text{m}$ 、 $0.35\ \mu\text{m}$ 时成像条纹的成像变化情况。结合上述温度与镜片形变的关系，可以发现，当环境温度只有 $2^\circ\text{C}\sim 6^\circ\text{C}$ 时，镜片形变对光路的影响已经很大。

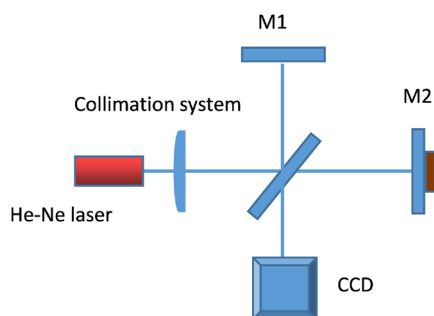


Figure 5. Diagram of laser speckle interference

图 5. 激光散斑干涉装置图

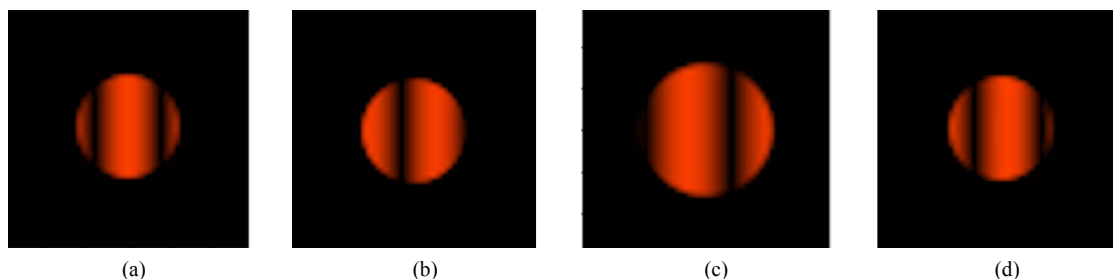


Figure 6. Laser speckle interferometric fringes

图 6. 激光散斑干涉图

同样道理，我们也可以利用该装置进行玻璃镜片形变测量测试与研究，本课题组应用激光散斑装置在实验中测试了全息照相装置中 45° 分束镜热形变与温度的关系以及对光路的影响[8]，在温度为 26°C 、 27°C 和 28°C 时的形变量，与本文计算结果相差 $4^\circ\text{C}\sim 5^\circ\text{C}$ ，而且变化斜率不同，分析主要原因是由于本文计算模拟中设置室温温度偏低，为 18°C ，而且，研究对象不同，材质不同，参数不同，重要的是在实验过程中，加热源的均匀性对实验测量结果也具有一定影响的，但量级完全一致。

4. 结论

通过上述分析，可知室温及中低温度下 K9 玻璃镜片随着热载荷温度变化以及环境温度变化会产生一定的微小形变量，虽然形变量较小，但是依然会对实验中的光路成像产生影响，该影响可以用激光散斑干涉仪进行测量分析。本文对 K9 玻璃镜片热形变进行了研究，接下来将对其它镜片以及光学仪器进行研究，为后续中低温度范围内光学仪器的应用与光学现象的研究提供一定的理论参考依据。

基金项目

沈阳师范大学优秀人才支持计划项目(No.222-51300417)，辽宁省自然科学基金项目(No.20180550055)，国家自然科学基金青年基金项目(No.61603265)。

参考文献

- [1] 罗福, 杜祥琬, 孙承纬. 光斑尺寸对 K9 玻璃近红外激光损伤阈值的影响[J]. 爆炸与冲击, 2002, 22(1): 61-65.
- [2] 刘红婕, 黄进, 王凤蕊, 周信达, 蒋晓东, 吴卫东. 熔石英表面热致应力对激光损伤行为影响的研究[J]. 物理学报, 2010, 59(2): 1308-1313.
- [3] 彭志涛, 魏晓峰, 元浩宇, 傅学军, 陈德怀, 孙志红, 刘华, 徐隆波. 全内反射照明光学元件损伤检测信噪比分析[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(6): 1111-1114.
- [4] 易琼, 孙先知, 杨建昌, 罗天峰, 王林森. 高能激光与 K9 玻璃相互作用仿真实验研究[J]. 激光与红外, 2017, 47(7): 808-812.
- [5] 刘一兵, 刘国华. ANSYS 的关键技术及热分析研究[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2008, 10(6): 104-107.
- [6] 周浩, 张北记. ANSYS 有限元分析软件在热分析中的应用[J]. 化工管理, 2016(12): 115-115.
- [7] 凌桂龙. ANSYS Workbench 15.0 从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 249-251.
- [8] 陈秀艳, 杨德龙. 激光散斑法在全息分束镜微形变的研究[C]//光电技术委员会会议, 2015, 9522(8): 1-6.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: app@hanspub.org