

退火工艺过程光学玻璃热力学特性的计算机仿真

吴清文¹, 卢泽生¹, 卢 镔²

(1. 哈尔滨工业大学机电学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 退火是光学玻璃加工的重要工艺过程。用于空间光学遥感器的平板光学玻璃的热特性及热控措施具有特殊的要求, 因此其退火过程也具有一定的特殊性。本文的重点工作是利用有限元法, 针对全部镀膜后的光学玻璃在退火工艺过程中的温度场及热弹性变形进行分析计算, 旨在探索合理的退火工艺参数及其改进措施。

关键词: 光学玻璃; 温度场; 有限元法

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A

1 引言

退火是光学玻璃加工的重要工艺过程, 通常是为了消除玻璃中的永久内应力, 消除一批玻璃的光学不均匀性和消除一块玻璃各部分的光学不均匀性等。一块玻璃从成形到最终加工出正式光学元件需要进行多次退火。由于结构形式、尺寸等的变化及加工工艺的不同, 退火工艺也作适当调整^[1]。镀完增透膜及其他特殊用途的膜后, 可能会在光学玻璃表面形成不均匀应力分布, 所以需进一步退火处理。此时该光学玻璃已基本成为正品, 必须对其后续工艺过程严格控制以确保产品研制万无一失, 从而保证其生产周期。

本文将探讨用于空间光学遥感器的、已经完成全部切削加工并已镀膜结束的平板窗口玻璃的退火工艺过程中的热问题, 主要应用有限元技术^[2]考查窗口玻璃在退火过程中的温度场分布及热弹性变形, 揭示窗口玻璃的热特性及热力学性能^[3-4], 为退火工艺提供有关参数。

2 退火过程中光学玻璃热力学特性分析流程

退火工艺过程中光学玻璃热力学特性的计算机仿真主要分为两大部分:

- (1) 温度场分布计算;
- (2) 热变形与热应力计算。

基本计算过程如图 1 所示。首先按光学窗口

玻璃的结构尺寸及实际退火设备的结构建立退火炉及其内部与传热有关的部件的结构有限元模型, 拟定加热功率-时间曲线, 与其他热特性参数(传导率、表面红外半球辐射系数、比热容等)输入到模型中, 选取瞬态传热模块进行计算, 求取各时间点上光学玻璃的温度分布。将所得温度值作为温度载荷加入到光学玻璃上, 再加入光学玻璃在退火过程中的约束等, 构成其热力学有限元模型, 经线性求解得到其应变、应力。将其结果与玻璃材料的有关参数及经验数据相对比得出退火工艺的合理性。

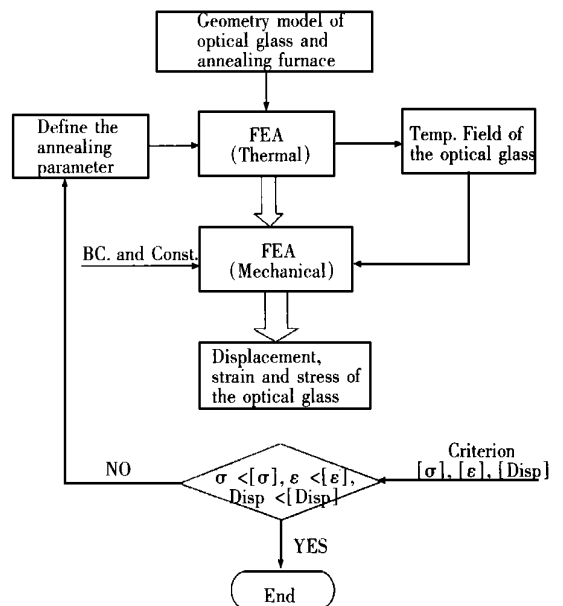


Fig. 1 Flowchart of simulation of the thermal and mechanical properties of optical glass

3 分析计算

3.1 原始数据

所用平板光学窗口玻璃尺寸为 $\Phi 620\text{mm} \times 45\text{mm}$, 其热特性与无色玻璃 K9 类似, 直接采用

K9 参数进行计算, 有关退火炉的结构参数由现场测量而得, 总体尺寸为 $\Phi 1300\text{mm} \times 1500\text{mm}$ 。

所涉及的材料有 K108 无色玻璃、铝、45# 钢、聚四氟乙烯等。其材料属性参数分别来自俄罗斯光学厂家、中国国标及航空材料手册等。热参数如表 1 所示。

Table 1 Thermal properties

NO	Structure /Material	ρ $10^{-6}\text{kg}/\text{mm}^3$	λ $\text{W}/(\text{mm} \cdot \text{)}$	C_p $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{)}$	α $10^{-6}/$	ϵ
1	Inner wall of the annealing furnace	7.8	0.121	921	22.0	0.8
2	K108 glass	2.53	0.001207	858	7.5	0.94
3	ITO film					
4	Al circular	2.8	0.121	921	22.0	0.8
5	45# steel	7.81	0.0481	468.9	11.59	0.6
6	PTFE	2.18	0.00012	1000	100	0.6
7	Heating bar	8.43	0.1089	358.2	20.6	0.8

3.2 边界条件与初始条件

在构造窗口玻璃及退火炉的热模型及热弹性模型时作了如下假设:

(1) 退火炉仅考虑其内壁对窗口玻璃的影响, 其外层空间由于采用室温循环水冷却, 所以假设退火炉内壁温度固定为室温 20°C , 不再考虑其与外界的热交换。

(2) 各种材料材质均匀, 各向同性且已经过长时间温度均衡处理, 并且达到各点温度均为 20°C , 所以设定模型的初始温度为 20°C 。

(3) 各种材料的表面辐射系数、热传导率不随时间变化。

(4) 内部加热器, 只考虑其加热段的作用, 忽略其它附件的影响。加热器的热流密度各处相等, 其总功率-时间变化数据实际记录如表 2 所示。

Table 2 Annealing power-time data for the optical glass

Time()	Volt(V)	Current(A)
0	26	80
30	30	100
60	34	110
90	37.8	120
120	41.2	125
140	42.9	130
150	42.9	130
160	45.6	135
170	45.6	135
180	47.6	140
280	47.6	140

3.3 有限元热模型及热弹性分析模型

(1) K108 窗口玻璃及退火炉的有限元热模型如图 2 所示。节点数 1437, 单元数 751, 其中窗口玻璃节点数 355, 单元数 256。

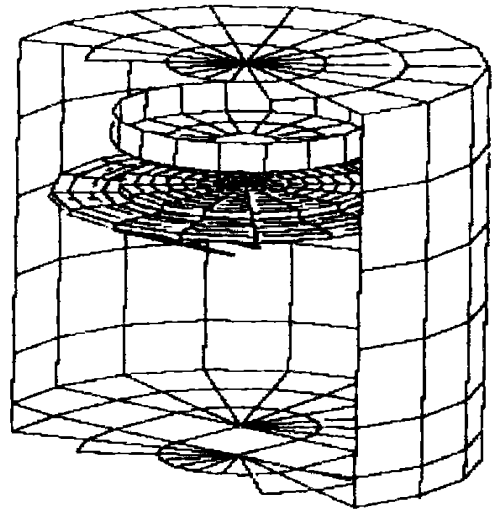


Fig. 2 FE model for thermal analysis

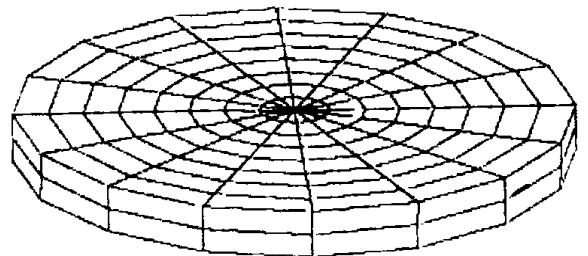


Fig. 3 FE model for structural analysis

(2) K108 窗口玻璃的热弹性分析模型如图 3 所示。窗口玻璃在加热过程中, 简支于铝环上, 其约束点设在窗口玻璃靠加热器一侧的中心点处。

3.4 计算结果

按表 2 所示加热曲线施加到加热棒上, 得到如下结果。

(1) K108 窗口玻璃随时间变化的最高温度及最大温差如图 4 所示。

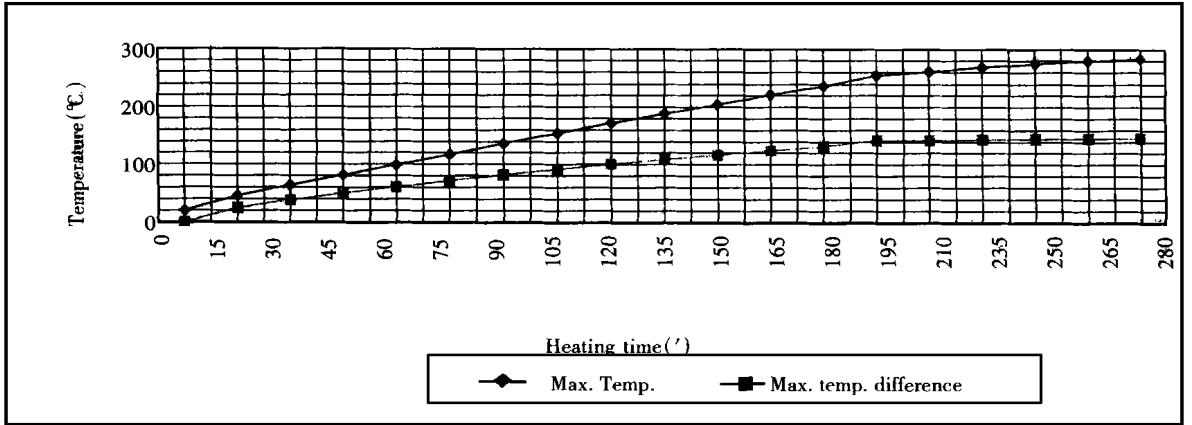


Fig. 4 Max temperature and max temp. difference of the glass

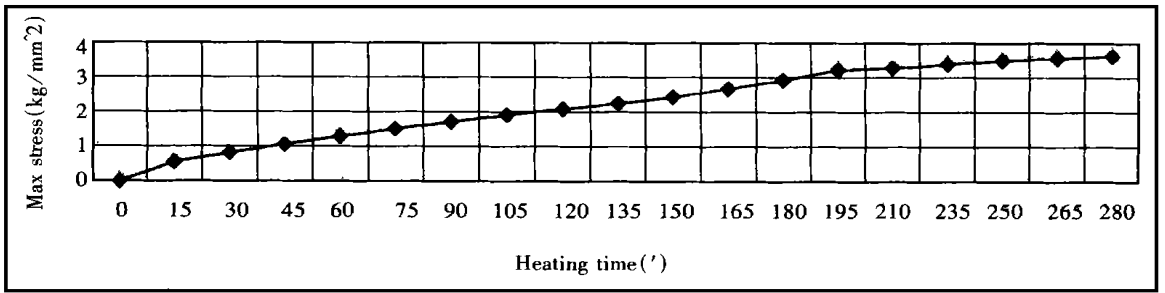


Fig. 5 Max stress of the glass

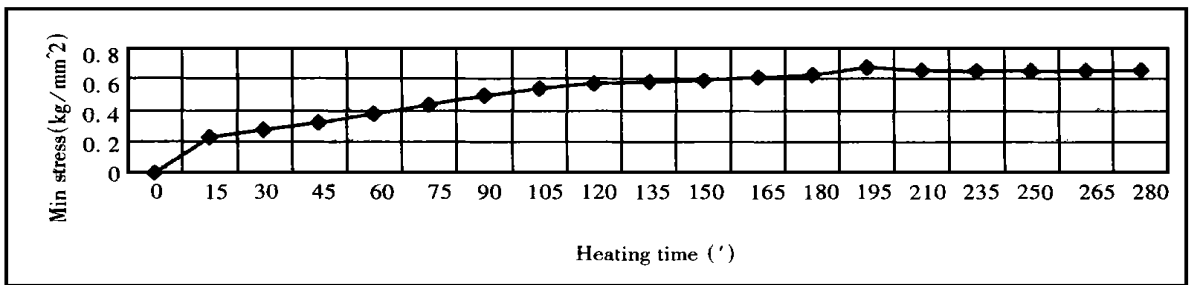


Fig. 6 Min stress of the glass

(2) K108 窗口玻璃随时间变化的最大、最小热应力分别如图 5、图 6 所示。

从图 4、图 5 和图 6 所示结果可以看出, 加热时间 0-180 分钟内光学玻璃的最高温度、最大温差及最大热应力均呈上升趋势, 而当加热功率恒定后, 这三项数据均能保持恒定。所以在加热过程中应对加热速率加以控制, 适当降低功率-时间

曲线的斜率。另外从最大温差曲线也或多或少反映了退火炉结构存在一定不合理性。单侧加热, 且在非加热面上尚有一盆形金属件, 对光学玻璃热平衡极为不利。

4 结 束 语

将有限法应用于光学玻璃退火工艺过程中,求取退火过程中光学玻璃的温度场分布及其应力、应变等仿真工作,可以预知退火过程中的加工

件的热特性,并考查工艺参数的合理性,可以优化、优选退火工艺,避免退火失败。

由于分析计算的简化处理和理论参数与实际值间误差等因素可能导致计算结果有一定误差,所以在实际退火过程中应对被加工件的状态密切关注,积累经验以备批量生产和后期加工。

参考文献:

- [1] 千福熹,等. 光学玻璃[M]. 北京: 科学出版社, 1964.
- [2] Hathway Alson E. Finite element methods for evaluating optical system performance[J]. Proc. SPIE, 1984, 518: 145- 149.
- [3] 李积慧. 空间光学遥感器的热光学分析与热控设计研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2000.
- [4] 赵鹏,等. 航天相机主镜热特性研究[J]. 光学 精密工程, 1997, 5(6): 64- 68.

Computer simulation for thermal property of optical glass during annealing treatment

WU Qing-wen¹, LU Ze-sheng¹, LU E²

(1. School of Mechatronic, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China;
2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: Annealing treatment is a key process to manufacturing a piece of fine glass. Special treatment should be done for the plate glass used in a space optical instrument because of its thermal property and thermal control. Finite element method is employed to calculate the temperature field and thermal deformation during annealing treatment of a film-plated glass. The proposal is to find a set of feasible parameters to anneal the glass.

Key words: optics glass; temperature field; finite element method

作者简介: 吴清文(1968-),男,四川简阳人,博士,副研究员,硕士生导师。1987年至1994年就读于哈尔滨工业大学精密仪器系,先后获学士学位、硕士学位。1997年毕业于中国科学院长春光机所,获工学博士学位,同年留所继续从事空间光学传感器研制工程的CAD技术应用工作。1998年12月至今于哈尔滨工业大学做博士后工作。主要研究方向:光学精密工程的CAD技术应用及塑料注射成型模具的CAD/CAE技术。