

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.09.013

塑料光学透镜模压成型有限元分析

吴轶刚¹, 闫钰锋^{1,2}, 周见红^{1,2}, 白素平^{1,2}

(1. 长春理工大学光电工程学院, 长春 130022; 2. 长春理工大学光电工程国家级实验教学示范中心, 长春 130022)

摘要: 针对一种新型的塑料光学透镜加工技术——透镜模压成型技术, 为了快速且以较低成本获取该成型技术较优的工艺参数, 基于 ANSYS 有限元分析软件和透镜材料聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 的特性, 建立了 PMMA 材料的黏弹性模型, 然后在不同的模压温度和模压速度下对透镜模压过程进行了仿真, 对比分析了这两种工艺参数对透镜成型残余应力的影响。结果表明, 随着模压温度的升高和模压速度的降低, 成型透镜的最大残余应力值相应减小, 当模压温度达到 125℃ 后或模压速度小于 1 mm/s 时, 最大残余应力下降趋势趋于稳定。PMMA 透镜模压成型适宜的模压温度和模压速度分别为 125℃ 和 0.5 mm/s。

关键词: 塑料光学透镜; 模压成型; 模压温度; 模压速度; 黏弹性; 有限元分析; 残余应力

中图分类号: TQ320.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)09-0072-06

Finite Element Analysis of Compression Molding for Plastic Optical Lens

Wu Yigang¹, Yan Yufeng^{1,2}, Zhou Jianhong^{1,2}, Bai Suping^{1,2}

(1. School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Opto-Electronic Engineering Education, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: According to a new type of plastic optical lens processing technology——optical lens compression molding technology, and in order to gain the optimized process parameters of the compression molding technology rapidly with lower cost, a viscoelasticity model of poly(methyl methacrylate) (PMMA) was established base on ANSYS finite element analysis software and characteristics of PMMA lens material. Then, the lens compression molding process was simulated at different molding temperatures and molding speeds, the effects of the two process parameters on the residual stress of the lens were analyzed. The results show that the maximum residual stress of the molded lens decreases correspondingly with the increase of molding temperature and the decrease of molding speed. The decline of the maximum residual stress tends to be stabilized after the molding temperature reaches 125 °C or when the molding speed is less than 1 mm/s. The proper molding temperature and molding speed of PMMA lens compression molding technology are 125℃ and 0.5 mm/s.

Keywords: plastic optical lens; compression molding; molding temperature; molding speed; viscoelasticity; finite element analysis; residual stress

光学透镜模压技术也称为光学透镜热压成型技术, 其原理是在加温加压条件下, 对高温软化的透明材料进行模压, 使材料对模具的形貌进行复制, 从而实现光学透镜的加工。利用透镜模压技术加工塑料透镜是一种新型的塑料光学透镜加工技术, 其相对于传统加工方法有很大的优点。传统的透镜注射成型技术存在加工时材料流动距离长、变形量大等

问题, 因而成型的透镜内应力大, 容易影响透镜成像质量, 而模压成型的透镜内应力相对很低, 另外由于不需要考虑浇注系统的布置对透镜成型的影响, 故可在一定的模板上布置较多的模具, 从而提高生产效率; 同时在模具和成型设备的造价上, 模压成型的模具成本通常较注塑模具低, 适合多品种小批量生产^[1-3]。

基金项目: 吉林省科技厅重点科技研发项目 (20180201016GX)

通讯作者: 闫钰锋, 博士, 副教授 E-mail: yanyufeng@cust.edu.cn

收稿日期: 2018-06-19

引用格式: 吴轶刚, 闫钰锋, 周见红, 等. 塑料光学透镜模压成型有限元分析 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(9):72-77.

Wu Yigang, Yan Yufeng, Zhou Jianhong, et al. Finite element analysis of compression molding for plastic optical lens[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):72-77.

许多科研人员对塑料模压成型技术进行了研究,但在塑料透镜模压成型方面的研究较少,且相关研究主要集中在模具制造和模压系统的制备方面,对工艺的研究较少,此外利用实验的方法研究工艺参数耗时严重^[4-5]。

笔者在分析塑料光学透镜材料聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 性质的基础上,建立了该材料的黏弹性模型,并通过 ANSYS 有限元软件仿真分析了塑料透镜模压成型过程中模压温度和模压速度对透镜残余应力的影响,从而为塑料光学透镜模压成型工艺的深入研究提供参考。

1 塑料光学透镜模压技术原理

塑料光学透镜模压成型过程主要包括加热、模压成型、退火、脱模 4 个阶段,如图 1 所示。其具体过程为:首先将处于黏弹态的塑料透镜毛坯材料放置在下模具上,将透镜毛坯和上下模具一起加热到指定模压温度,并保持温度均匀一致;然后在运动系统的控制下,上下模具以一定的模压速度合模,透镜材料毛坯被压制成型,保持一段时间,在这个过程中需保持材料以及模具的温度恒定;之后在模具上保持适当的压力,将样品退火冷却至 60℃;最后去除施加在模具上的压力,开模,待成型透镜自然冷却至室温后取出模压完成的透镜^[6]。

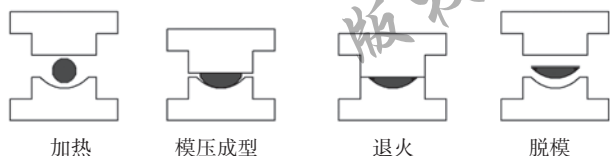


图1 塑料透镜模压成型主要过程

对于塑料光学透镜来说,其在成型后均会带有一定的残余应力,而残余应力过大不仅会减小透镜的强度,还会引起透镜的折射率变化,产生光路偏差,影响成像质量。在模压成型过程中,透镜材料会在短时间内于高温下产生形变,而这就是透镜残余应力产生的主要原因,因此模压温度和模压速度是影响透镜残余应力的两个重要工艺参数。

有限元分析是用数学近似的方法对物理情况进行模拟,通过划分单元的方式,用有限数量的解去逼近无限未知量。利用有限元分析软件模拟塑料透镜模压过程中模压温度和速度对透镜成型质量的影响,可以省去大量实验所花费的时间和材料损耗,并且可以得到透镜成型过程中模具填充情况以及成型透镜内部的应力分布情况,这在普通实验中很难得到^[7-10]。

2 有限元分析模型的建立

2.1 几何模型的建立

由于在模压过程中透镜材料只受到垂直方向的力,而不受到横向的力,因此除厚度外其它方向变化均相同,并且材料毛坯和模具都是关于垂直轴对称的半球形或圆柱形,同时分布在模具和毛坯上的载荷也对称均匀。因此为便于计算,在不影响计算结果的前提下,采用二维轴对称的模型为有限元模型,模型的变形为 2D 变形。在模压过程中,模具和材料的温度一致,即等温模压,同时忽略空气对模压过程的影响;模压过程中模具变形可以忽略不计,因此上下模具均设为刚体。结合以上假设建立的 ANSYS 有限元分析几何模型如图 2 所示。

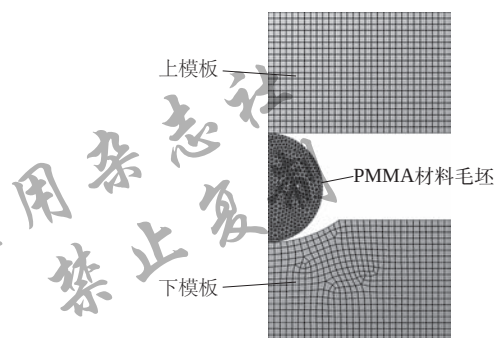


图2 ANSYS 有限元分析几何模型

2.2 PMMA 材料黏弹性模型的选择

在有限元分析中,塑料透镜模压材料选取 PMMA,其具有良好的光学性能,透明度优良,透光率达到 92%,且还具有质轻、强度高、易于加工等特点,是制作光学透镜的理想材料。

在进行塑料透镜模压成型时,PMMA 材料表现出黏弹性,物质的黏弹性介于线弹性和理想黏性之间,因此需要选择合适的材料黏弹性模型来表征其材料力学特性。黏弹性力学模型中的黏性和弹性单元越多,越能精确表征材料特性,因此通常采用 n 个 Maxwell 模型并联并再和一个弹性元件并联所组成的广义 Maxwell 模型来描述材料的黏弹性力学行为,以此表征 PMMA 材料应力松弛过程和蠕变过程,如图 3 所示。

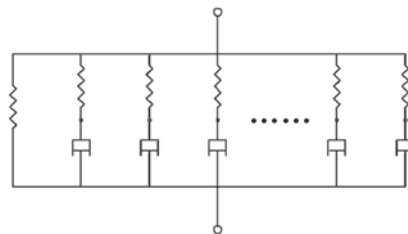


图3 广义 Maxwell 模型

广义 Maxwell 模型的应力 $\sigma(t)$ 对时间 t 的响应如式 (1) 所示。

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 E_e + \sum_{i=1}^n \varepsilon_0 E_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (1)$$

或

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = E_e + \sum_{i=1}^n E_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), t \geq 0 \quad (2)$$

式中: ε_0 ——模型的应变;

E_e —— $n=0$ 时弹性元件的弹性模量;

E ——弹性模量;

τ ——松弛时间。

由式 (1) 和式 (2) 可以看出,在广义 Maxwell 模型中材料的黏弹性特性可采用多个松弛时间来描述,而这就很好地表征 PMMA 材料的黏弹特性^[11-13]。ANSYS 中的黏弹性模型是 Maxwell 模型的通用积分形式,其松弛函数由 Prony 级数表示,如式 (3) 所示。

$$E(t) = E_\infty + \sum_{i=1}^n E_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (3)$$

式 (3) 中 E_∞ 即为 $n=0$ 时的弹性模量。由式 (2) 及式 (3) 可以看出,两种公式表示的内容一致,只是具体的数学表达式有一些不同,这里采用式 (3) 的形式进行 PMMA 透镜模压成型的有限元分析。

2.3 PMMA 材料黏弹性模型的建立

PMMA 材料的相关热力学参数如表 1 所示,建立的本构黏弹性模型应力松弛参数如表 2 所示。

表 1 PMMA 材料相关热力学参数

材料参数	数值
密度 / (g · cm ⁻³)	1 190
拉伸弹性模量 / GPa	3 560
泊松比	0.3
玻璃化转变温度 / °C	109
热导率 / [W · (m · K) ⁻¹]	0.19
线膨胀系数	0.000 06

表 2 PMMA 材料黏弹性模型应力松弛参数

编号 ¹⁾	$g_i^{2)}$ / MPa	$k_i^{3)}$ / MPa	$T_{aui}^{4)}$ / s
1	0.210 6	0.210 6	7.92×10^{-5}
2	0.338 5	0.338 5	0.006 12
3	0.257 3	0.257 3	0.179
4	0.136 2	0.136 2	2.67
5	0.039 6	0.039 6	27.5
6	0.012 8	0.012 8	216

注: 1) 在 ANSYS 中,一般利用 6 阶 Prony 级数来表达聚合物的黏弹性特性,表中编号即为阶数; 2) g_i 为各 Prony 级数剪切相对模量; 3) k_i 为各 Prony 级数体积相对模量; 4) T_{aui} 为各 Prony 级数分量的松弛时间。

聚合物的力学性能具有时间温度相关性,松弛模量与温度相关,改变时间尺度或温度尺度对黏弹

性的力学性能具有等效性。因此还需利用 WFL 模型方程来描述黏弹性材料的时温等效特性,而在利用 WFL 模型方程进行描述时需要获得材料的玻璃化转变温度和两个与材料本身有关的常量 $C1$ 与 $C2$ 值, PMMA 材料的玻璃化转变温度如表 1 所示,为 109℃, $C1$ 与 $C2$ 值分别为 16 和 56。

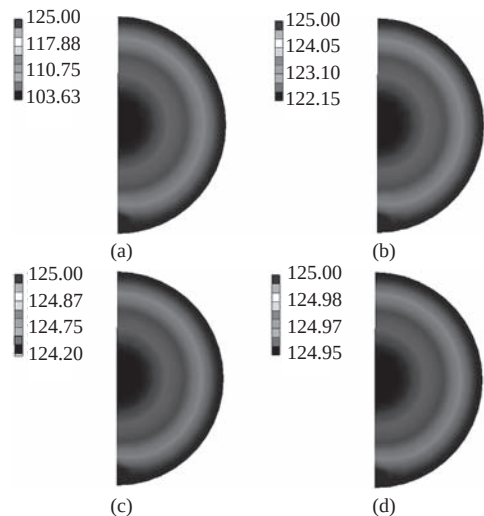
模型建立后,在有限元分析软件的材料库中,导入上述建立的材料模型参数,完成 ANSYS 中材料参数的设定,之后进行透镜模压过程的有限元模拟工作。

3 有限元仿真结果分析

3.1 模压温度对 PMMA 透镜残余应力的影响

PMMA 的玻璃化转变温度是 109℃,当模压温度低于这个温度时, PMMA 材料处于玻璃态,材料呈现线弹性行为,不能进行模压。模压温度继续升高至玻璃化转变温度时, PMMA 材料出现黏性行为,温度进一步升高,材料便会呈现黏弹性行为,适合模压成透镜。虽然越高的温度越适合透镜的成型,但是更高的温度意味着更长的加热时间和更低的效率,同时在过高温下, PMMA 材料也会产生分解,另外高模压温度对模具抗高温和氧化的能力也有更高的要求。因此在模压过程中需要选取合适的模压温度。

在加热阶段, PMMA 的热量主要来源于模压炉内的高温氮气,由此定义热边界条件和材料属性,模具和材料的初始温度为 22℃,炉内的模压温度设为 125℃。由于金属模具的导热系数比较高,吸热能力强,在较短的时间内就可升到 125℃。在加热阶段 PMMA 毛坯材料的温度变化情况如图 4 所示。

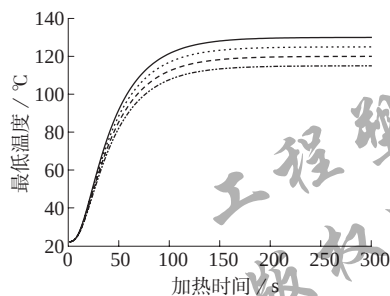


加热时间: a—70 s; b—140 s; c—210 s; d—280 s

图 4 不同加热时间 PMMA 毛坯材料温度分布图

图 4a 为加热到 70 s 时的温度分布情况, PMMA 毛坯材料的最低温度为 103.63℃; 图 4b 为加热到 140 s 时的温度分布情况, 此时 PMMA 毛坯材料的最低温度为 122.15℃, 温度分布还很不均匀; 图 4c 为加热到 210 s 时的温度分布情况, 毛坯材料最低温度为 124.62℃, 接近模压温度 125℃; 图 4d 为加热到 280 s 时的温度分布情况, 整个 PMMA 毛坯材料均达到了 125℃。

此外选择 115, 120, 125, 130℃ 的模压温度进行仿真, 图 5 为不同模压温度下加热过程中 PMMA 毛坯材料最低温度的变化过程。由图 5 可以看出, 不同模压温度下毛坯材料温度的变化趋势大致相同, 在加热的初始阶段, 材料温度上升比较明显, 经过一段时间以后温度上升速度变缓, 直到温度达到所需的模压温度。可以看出, 加热时间达到 280 s 时, 4 组材料的温度都达到了设定的模压温度。因此, 加热阶段达到模压所需温度的时间为 280 s。

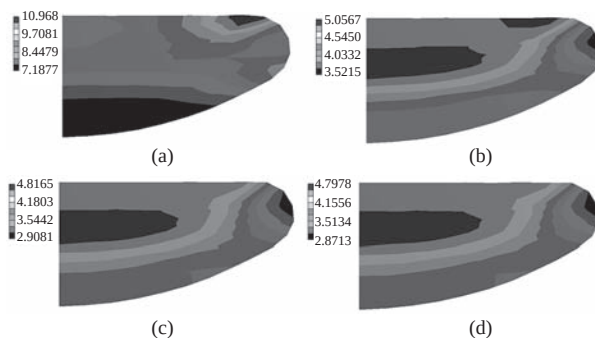


模压温度: ·····115℃; - - -120℃; ·····125℃; ———130℃

图 5 不同模压温度下 PMMA 毛坯材料最低温度随加热时间变化情况

毛坯材料和模具被加热到模压温度后, 上模具向下移动, 毛坯材料被模压成型为透镜。为了研究模压温度对模压后透镜残余应力的影响, 需要选择不同的温度来进行模压仿真实验。选择 115, 120, 125, 130℃ 4 组模压温度, 在相同的模压速度下对 PMMA 进行有限元仿真分析, 考虑到透镜左右为对称结构, 因此只选择右半部分进行分析, 由此得到 4 组模压温度下透镜残余应力的分布情况, 如图 6 所示。图 6 显示, 在 115℃ 和 120℃ 下, 最大残余应力出现在透镜中心和形变较大的边缘处, 在 125℃ 和 130℃ 时, 最大残余应力分布范围减小, 只在中心处有分布。

采用样条插值的方法对透镜模压温度和最大残余应力的数据关系进行拟合, 结果如图 7 所示。由图 7 可以发现, 模压温度为 110℃ 时, 最大残余应力为 10.96 MPa, 而图 6 显示此时最小残余应力也在 7.18 MPa 左右, 这易使成型的透镜发生开裂现象。随着模压温度的升高, 透镜的最大残余应力迅



模压温度: a—115℃; b—120℃; c—125℃; d—130℃

图 6 不同模压温度下成型透镜的残余应力分布图

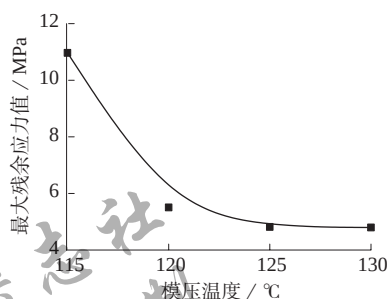
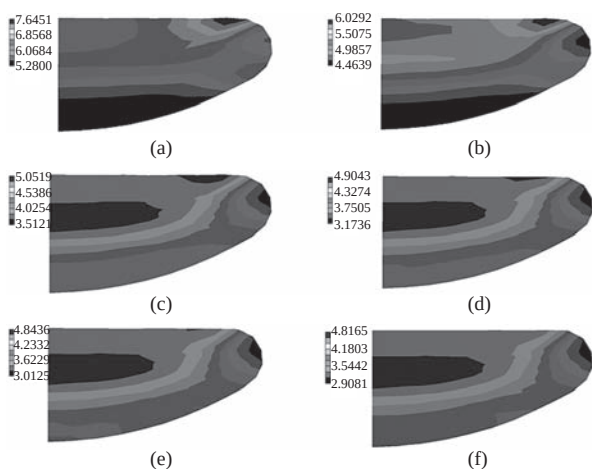


图 7 透镜模压温度—最大残余应力关系图

速减小, 当模压温度达到 120℃ 后, 透镜内部残余应力的减小的趋势已经开始变缓, 继续提高模压温度至 125℃ 以上时, 最大残余应力基本趋于稳定, 不再发生明显变化。这是因为在较低模压温度下, PMMA 毛坯材料的黏度大, 流动性差, 分子链的松弛较困难, 因而会产生较大残余应力; 随着模压温度的上升, 毛坯材料黏度有所减小, 分子链的松弛变得较为容易, 因此在发生同样的形变时, 产生的残余应力较小。当模压温度达到 125℃ 时, 分子链的松弛基本趋于稳定, 故随着模压温度的继续上升, 相应的残余应力基本不再变化。考虑到过高的模压温度会导致加热过程设备能耗的上升, 进而使工艺成本上升, 因而可以确定 PMMA 透镜模压成型时比较适宜的模压温度为 125℃。

3.2 模压速度对透镜成型质量的影响

在合适的模压温度下进行模压实验时, 模压速度是影响透镜成型质量的另一个重要工艺参数。为了研究模压速度对模压后透镜残余应力的影响, 选择 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 1 mm/s 的模压速度, 在模压温度 125℃ 下对 PMMA 进行有限元仿真分析, 得到的 6 组模压速度下透镜残余应力分布情况如图 8 所示。图 8 显示, 在 0.1, 0.2, 0.4, 1 mm/s 模压速度下, 最大残余应力出现在透镜中心和形变较大的边缘处, 在 0.025, 0.05 mm/s 模压速度下, 最大残余应力主要出现在透镜中心处。



模压速度: a—1 mm/s; b—0.4 mm/s; c—0.2 mm/s;
d—0.1 mm/s; e—0.05 mm/s; f—0.025 mm/s

图8 不同模压速度下成型透镜的残余应力分布图

采用样条插值的方法对透镜模压速度和最大残余应力的数据关系进行拟合,结果如图9所示。从图9可以看出,随着模压速度的升高,透镜内部的最大残余应力值也在升高,模压速度在0.1 mm/s之下时,最大残余应力上升的趋势比较平缓,而在这个速度之上时,残余应力值上升的趋势变得非常显著,在0.2 mm/s之后,最大残余应力随模压速度增加基本成线性关系增长。这主要是因为模压速度越大,PMMA毛坯材料发生形变所需的时间越短,分子链来不及松弛,使后续的透镜内部均匀性调整不完善,所以残余应力较大。虽然选择较低的模压速度可使透镜的残余应力明显降低,但也会降低模压效率。基于以上分析,选择0.05 mm/s为PMMA透镜模压成型时比较适宜的模压速度,此时PMMA透镜内部最大残余应力值仅为4.8436 MPa。

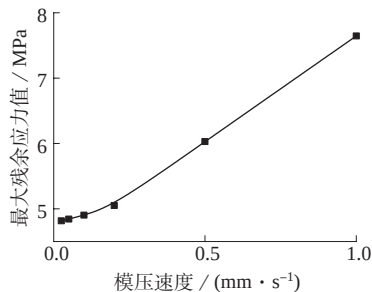


图9 透镜模压速度—最大残余应力关系图

4 结论

采用ANSYS有限元软件对PMMA材料的塑料透镜模压成型工艺进行了数值模拟,建立了PMMA材料的黏弹性本构模型,对PMMA透镜模压过程中重要的工艺参数——模压温度和模压速度进行了仿真模拟。结果表明,随着模压温度的升

高,最大残余应力变小,但模压温度到达125℃以后最大残余应力趋于稳定;随着模压速度的降低,最大残余应力也在减小,模压速度在0.1 mm/s以下时下降趋势变缓。PMMA透镜模压成型时比较适宜的模压温度为125℃、模压速度为0.05 mm/s,此条件下PMMA透镜内部最大残余应力值为4.8436 MPa,取得了预期的效果。

参考文献

- [1] 黄永程,刘泓滨,邓利军.非球面塑料透镜注射成型与注塑压缩成型工艺的对比分析[J].中国塑料,2015,29(9):67-72.
Huang Yongcheng, Liu Hongbin, Deng Lijun. Comparative analysis of injection molding and injection compression molding of aspherical plastic lens[J]. China Plastics, 2015, 29(9):67-72.
- [2] 周天丰,解加庆,梁志强,等.光学微透镜阵列模压成形研究进展与展望[J].中国光学,2017,10(5):603-618.
Zhou Tianfeng, Xie Jiaqing, Liang Zhiqiang, et al. Advance and prospects of molding for optical microlens array[J]. Chinese Journal of Optics, 2017, 10(5):603-618.
- [3] 黄汉雄.塑料模压成型技术(一)[J].橡塑技术与装备,2001,27(2):1-5.
Huang Hanxiong. Plastics compression molding technology (I)[J]. China Rubber / Plastics Technology and Equipment, 2001, 27(2):1-5.
- [4] 傅志红,王志伟,尹业刚,等.PMMA变温松弛模量获取方法的实验研究[J].塑料工业,2014,42(9):51-54,79.
Fu Zhihong, Wang Zhiwei, Yin Yegang, et al. The experimental study of PMMA variable temperature relaxation modulus method[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(9):51-54, 79.
- [5] 邓腾,周国发,宋佳佳.聚合物热黏弹塑性变形微热压成型机理的数值模拟研究[J].中国塑料,2018,32(2):91-97.
Deng Teng, Zhou Guofa, Song Jiajia. Study on numerical of thermal viscoelastic plastic deformation filling mechanism in micro-hot embossing process of polymers[J]. China Plastics, 2018, 32(2):91-97.
- [6] 谢丹,张鸿海,陶晟,等.PMMA微透镜阵列的非接触式热压印制技术[J].机械科学与技术,2012,31(12):1955-1958.
Xie Dan, Zhang Honghai, Tao Sheng, et al. Fabrication of PMMA microlens array with contactless hot-embossing technology[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2012, 31(12):1955-1958.
- [7] 朱科军,许博文,张高峰,等.玻璃透镜模压成形工艺试验研究[J].湘潭大学自然科学学报,2017,39(2):71-75.
Zhu Kejun, Xu Bowen, Zhang Gaofeng, et al. Experimental study on molding process of glass lens[J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 2017, 39(2):71-75.
- [8] 张静,张钉凡.基于ANSYS的玻璃模压成型有限元分析[J].现代制造技术与装备,2016(10):106-108.

- Zhang Jing, Zhang Dingfan. ANSYS-based FEA of glass molding press[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2016(10):106-108.
- [9] Yi A, Jain A. Compression molding of aspherical glass lenses—A combined experimental and numerical analysis[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2010, 88(3):579-586.
- [10] Ananthasayanam B, Joseph P F, Joshi D, et al. Final shape of precision molded optics: Part I—Computational approach, material definitions and the effect of lens shape[J]. Journal of Thermal Stresses, 2012, 35(6):550-578.
- [11] Sarhadi A, Hattel J H, Hansen H N. Evaluation of the viscoelastic behaviour and glass / mould interface friction coefficient in the wafer based precision glass moulding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2014, 214(7):1 427-1 435.
- [12] 杨挺青, 罗文波, 徐平, 等. 粘弹性理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004:13-21.
- Yang Tingqing, Luo Wenbo, Xu Ping, et al. Theory and application of viscoelasticity[M]. Beijing: Science Press, 2004:13-21.
- [13] Jalocha D, Constantinescu A, Neviere R. Revisiting the identification of generalized Maxwell models from experimental results[J]. International Journal of Solids & Structures, 2015, 67-68:169-181.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名、学历或职称、主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 15 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。