

# Research on Hot Pressing Technology of Cylinder Lens Grating Microstructure

Jian Xiong, Xiaoxia Xu, Lingqiang Gao, Liquan Zhou

Yibin Plastic Packaging Materials CO., Ltd. of Sichuan Province, Yibin Sichuan  
Email: 583922033@qq.com

Received: Jul. 30<sup>th</sup>, 2020; accepted: Aug. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 20<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Hot pressing technology is a common manufacturing technology about microstructure. Because of its low cost, high resolution, simple operation and other advantages, it is regarded as one of the most industrial application prospects of manufacturing methods on microstructure. Through the research about the hot pressing technology of cylinder lens grating microstructure, the non-isothermal rolling hot pressing process with mold temperature lower than PET (heating) is adopted to makes the cylinder lens grating structure with high replication rate and stable molding. The operation speed of the molding process is 3.5 m/min, the temperature of PET is 140°C~160°C, and the demoulding process is stable and reliable. The microstructure mold of cylinder lens grating on different height and ratio about width depth was tested. The results show that the smaller the height of the grating is the better the replication effect can be obtained. The microstructure with larger aspect ratio can obtain better replication effect.

## Keywords

Cylinder Lens Grating, Hot Pressing, Non-Isothermal, Replication Rate, Aspect Ratio

---

# 柱镜光栅微结构热压成型技术研究

熊建, 徐晓霞, 高灵强, 周立权

四川省宜宾普拉斯包装材料有限公司, 四川 宜宾  
Email: 583922033@qq.com

收稿日期: 2020年7月30日; 录用日期: 2020年8月13日; 发布日期: 2020年8月20日

---

## 摘要

热压成型技术是常用的一种微结构制造技术, 因其具有低成本、高分辨率、操作简单等优点而被看作是最具有工业化应用前景的微结构制造方法之一。通过对柱镜光栅微结构热压成型技术研究, 采用模具温

度低于聚合物PET温度(加热)的非等温滚动热压成型工艺,使得柱镜光栅结构复制率高、成型稳定,成型过程运行速度3.5 m/min,聚合物温度140℃~160℃,脱模无缺陷,工艺稳定可靠;对不同高度和不同宽深比的柱镜光栅微结构模具进行实验,不同线数的微结构光栅,高度越小的微结构越能获得更好的复制效果,宽深比越大的微结构越能获得更好的复制效果。

## 关键词

柱镜光栅, 热压成型, 非等温, 复制率, 宽深比

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

目前,市场对微结构材料的需求越来越大,尤其是在光学照明、生物医疗、立体显示和包装、光伏发电等领域这一趋势越来越明显,微结构材料制造技术的进步也在不断促进这一领域的发展。但是微结构材料制造仍存在许多问题,如工艺周期长、微结构一致性差、设备投资巨大等都使微结构材料制造的工业化存在一定技术风险[1][2][3][4][5]。

本文基于柱镜光栅微结构的热压成型试验,提出新的聚合物PET表面微结构滚动热压连续成型工艺,并设计出实现该工艺条件的微结构滚动热压连续成型设备,为进一步实现聚合物PET微结构滚动热压成型技术的产业化进行实验研究,为滚动热压成型技术发展提出可行可靠的规划。

## 2. 实验部分

### 2.1. 实验方案

#### 2.1.1. 柱镜光栅微结构热压成型工艺实验

对于结晶型聚合物PET,采用模具温度低于聚合物的非等温热压成型工艺,模具起到冷却的作用,更利于微结构的定型。实验所研究的影响因素有三个:模具温度、聚合物温度、运行速度,设定模具温度恒定不变,其他每个因素赋予三个水平的值,影响因素数值如表1所示。实验方案中各因素的水平由查阅相关文献和预先的实验确定,聚合物温度设定最高为160℃是因为此温度为保证聚合物PET不会过度融变而被拉断可取的最高温度[6][7][8]。

采用75线(1英寸宽度有75个柱镜光栅柱)柱镜光栅微结构模具作为热压成型模具,模具数据为线宽0.3368 mm,高度0.0487 mm,主要分析聚合物PET滚动热压成型柱镜光栅微结构工艺是否具备可行性。

#### 2.1.2. 不同结构柱镜光栅微结构热压成型实验

采用模具温度低于聚合物PET温度热压成型实验方案,分别对75线、155线两种不同规格的光栅线数置于同一个模具上,同时进行热压成型,测试不同线数柱镜光栅微结构的高度、宽高比对热压成型的影响,柱镜光栅微结构如图1所示,不同线数柱镜光栅微结构数据对比表如表2所示。

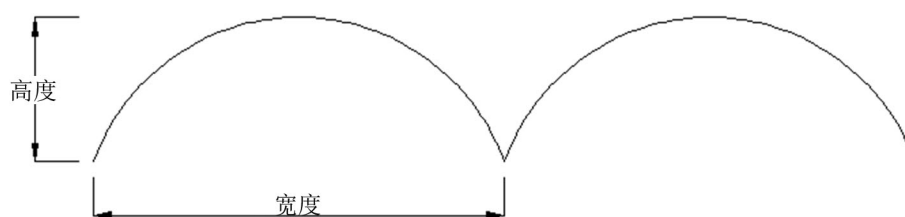
Table 1. Experimental values of influencing factors

表1. 影响因素实验设定数值表

实验次数	模具温度(℃)	聚合物温度(℃)	运行速度(m/min)
1	25	140	3.5

Continued

2		140	4
3		140	4.5
4		150	3.5
5	25	150	4
6		150	4.5
7		160	3.5
8		160	4
9		160	4.5



**Figure 1.** Microstructure of cylinder lens grating  
**图 1.** 柱镜光栅微结构示意图

**Table 2.** Microstructure data of cylinder lens gratings with different line numbers  
**表 2.** 不同线数柱镜光栅微结构数据

项目	75 线(mm)	155 线(mm)
高度	0.0487	0.0088
宽高比	7:01	18:01

## 2.2. 实验设备

柱镜光栅微结构热压成型设备工艺设计方案采用挤出连线热压成型工艺，热压成型设备的基本设计方案：采用现有成熟挤出工艺生产的 PET 光面基片，通过设计加装加热和成型组件，使得 PET 光面基片直接通过烘箱加热区域进行加热，加热后的 PET 光面基片进入热压区，柱镜光栅微结构模具(辊筒)热压 PET 光面基片，同时微结构辊筒内部设计冷却水道，可以起到冷却定型的作用；斜上设计牵引辊能最大限度提高材料在微结构辊筒上的定型时间，整体方案是具备可操作性的，可以通过该方案加工多种复杂微结构材料，设计方案如图 2 所示。

## 2.3. 实验仪器

表面轮廓仪 SMB-9，分析软件 FGA41VE1920C，用于测试和分析柱镜光栅微结构轮廓；点温计 TES-1310，用于测试材料、烘箱等的温度。

## 2.4. 实验材料

本实验采用的聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)基片为挤出设备在线生产，PET 原料牌号为普拉斯公司 66151。PET 材料有高强度，但缺口抗冲击韧性一般，能承受抗拉应力。低温时可变脆，化学稳定性、电气性能优良。PET 微结构器件可应用于多种场合和领域，材料性能参数如表 3 所示。

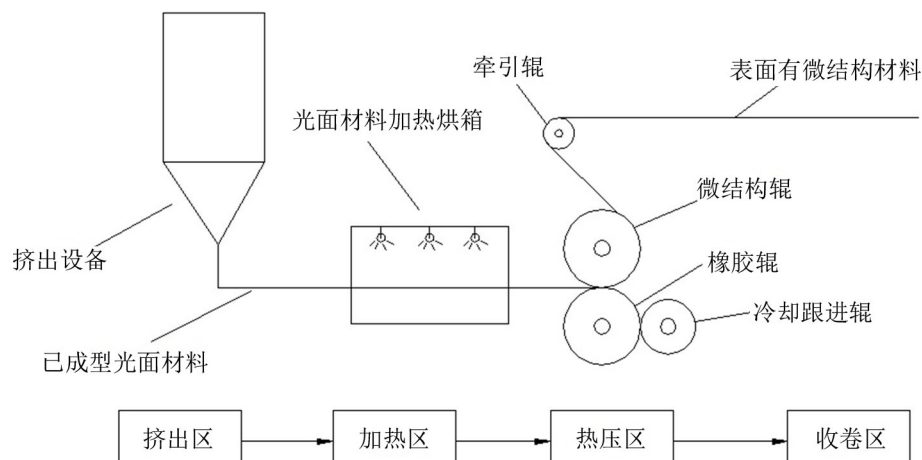


Figure 2. Design of hot pressing equipment for cylinder lens grating microstructure

图 2. 柱镜光栅微结构热压成型设备设计图

Table 3. Main performance parameters of PET materials

表 3. PET 材料的主要性能参数

性能	测试方法	数值与描述	单位
密度	ISO 1183	1.38	$\text{g/cm}^3$
维卡软化点	ISO 306	75	$^{\circ}\text{C}$
热变形温度	ISO 75	65	$^{\circ}\text{C}$
拉伸屈服强度	ISO 527	60	MPa

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. 热压成型工艺分析

热压成型实验结束后用表面轮廓仪 SMB-9 测试 PET 表面柱镜光栅微结构的成型情况, 采用测试软件 FGA41VE1920C 进行分析。具体测试方法: 取 PET 热压成型基片截面进行测试, 用柱镜光栅微结构热压成型的高度来表示其复制率(复制精度), 所谓复制率是指柱镜光栅微结构热压成型的高度与模具高度的比值(取百分比表示), 复制率越高表示柱镜光栅微结构热压成型效果越好。在热压成型 PET 基片的左、中、右三个区域各取 10 个柱镜光栅微结构轮廓高度, 取其平均值来表征整体的复制率。其结果如表 4 所示。

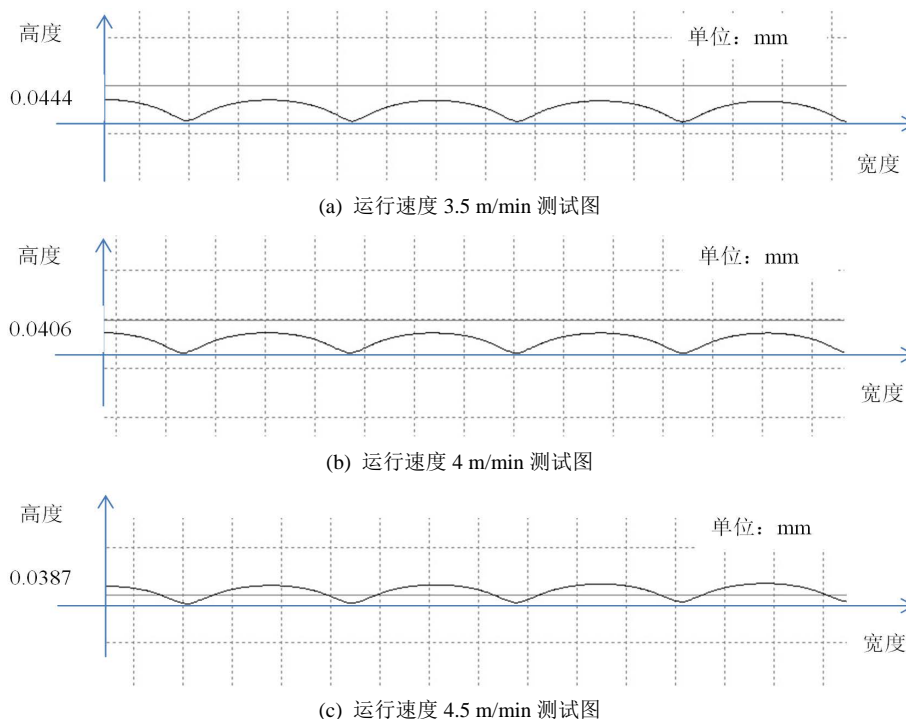
Table 4. Experimental results of hot pressing PET

表 4. PET 热压成型实验结果

实验次数	模具温度( $^{\circ}\text{C}$ )	聚合物温度( $^{\circ}\text{C}$ )	运行速度(m/min)	模具高度(mm)	高度(mm)	复制率(%)
1		140	3.5		0.0415	85
2		140	4		0.0395	81
3		140	4.5		0.0338	69
4		150	3.5		0.0437	90
5	25	150	4	0.0487	0.0402	82
6		150	4.5		0.035	72
7		160	3.5		0.0444	91
8		160	4		0.0406	83
9		160	4.5		0.0387	80

由实验数据分析可知, 模具温度恒定  $25^{\circ}\text{C}$ , 加热聚合物 PET 到融变较大时[9], 热压成型的柱镜光栅微结构效果很好, 聚合物 PET 温度和运行速度对柱镜光栅微结构的高度影响都很明显; 同样温度下, 速度越慢成型效果越好, 同样速度下, 温度越高成型效果越好。由以上分析可知, 通过加热聚合物 PET 热压成型柱镜光栅微结构是可行的。

由于所使用的表面轮廓仪 SMB-9 是接触式测试方式, 轮廓仪 SMB-9 测试的结构可以完全表征聚合物 PET 表面的结构, 以聚合物 PET 温度  $160^{\circ}\text{C}$ ,  $3.5\text{ m/min}$ 、 $4\text{ m/min}$ 、 $4.5\text{ m/min}$  三个不同速度的结构为测试依据, 如图 3 所示, 柱镜光栅微结构的复制效果很好, 复制率都在 80% 以上, 同时可以看到光栅的弧线是非常光滑的, 可以满足柱镜光栅微结构器件的使用要求[10]。



**Figure 3.** Profile test chart at different operating speeds  
**图 3.** 不同运行速度下的轮廓测试图

通过分析聚合物 PET 的热压成型实验研究认为, 对于滚动热压印成型工艺来说, 模具温度低于聚合物 PET 温度(加热)的非等温热压成型工艺具备可行性, 柱镜光栅微结构复制率高、结构稳定, 成型过程运行速度  $3.5\text{ m/min}$ , 温度  $140^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$ , 脱模无缺陷, 工艺稳定可靠。

### 3.2. 不同线数柱镜光栅微结构成型效果

热压成型实验结束后用表面轮廓仪 SMB-9 测试, 选取聚合物 PET 温度为  $160^{\circ}\text{C}$ , 运行速度为  $3.5\text{ m/min}$  的数据进行对比。其结果分析如表 5 所示。

**Table 5.** Hot pressing results of grating microstructure of cylinder lens with different line numbers  
**表 5.** 不同线数柱镜光栅微结构热压成型结果

线数	模具高度(mm)	高度(mm)	复制率(%)
75 线	0.0487	0.0444	91
155 线	0.0088	0.0086	99

通过以上测试结果分析可知, 同样的工艺条件下, 不同线数的柱镜光栅微结构, 高度越小的微结构越能获得更好的复制效果, 宽深比越大的微结构越能获得更好的复制效果。

#### 4. 结论

1) 对于滚动热压印成型工艺来说, 模具温度低于聚合物 PET 温度(加热)的非等温热压成型工艺具备可行性, 柱镜光栅微结构复制率高、结构稳定, 成型过程运行速度 3.5 m/min, 温度 140°C~160°C, 脱模无缺陷, 工艺稳定可靠;

2) 对于不同高度的柱镜光栅微结构, 高度越小的微结构越能获得更好的复制效果, 宽深比越大的微结构越能获得更好的复制效果。

#### 参考文献

- [1] Ju, S.Y., Krauss, P.R. and Renstrom, P.J. (1998) Imprint of Sub-25 nm Vias and Trenches in Polymers. *Applied Physics Letters*, **67**, 3114-3116. <https://doi.org/10.1063/1.114851>
- [2] 周伟民, 张静, 等. 纳米压印技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 57-77.
- [3] 孙洪文. 微纳压印关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 上海交通大学, 2007.
- [4] Peng, L., Deng, Y., Yi, P., et al. (2014) Micro Hot Embossing of Thermoplastic Polymers: A Review. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, **24**, 563-590. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/24/1/013001>
- [5] 杨振洲. 聚合物微结构平板热压印成型工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2015.
- [6] 张满. 基于纳米压印技术的微纳结构制备与应用研究[D]: [博士学位论文].北京: 中国科学院大学, 2016.
- [7] 王迎春. 非接触式热压印微透镜阵列的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [8] 叶回春, 沈连娟, 李木军. 滚动压印装置研制与压印填充模拟[J]. 纳米技术与精密工程, 2014, 12(4): 281-282.
- [9] Liu, H.Z., Shi, Y.S., Yin, L., et al. (2013) Roll-To-Roll Imprint for Highprecision Grating Manufacturing. *Engineering Sciences*, **1**, 39-43.
- [10] Shen, S., Zhou, F., Pu, D.L., et al. (2012) Microlens Array Film Fabricated by UV Roll-To-Roll Nanoimprinting for Enhancing Out-Coupling Efficiency of Organic Light-Emitting Devices. *Proceedings of 2012 International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale, Shaanxi, China, 29 August-1 September 2012*, 165-168. <https://doi.org/10.1109/3M-NANO.2012.6472962>