

# PMMA不同注塑温度和停留时间性能验证研究

童玲<sup>1</sup>, 张鹏程<sup>1</sup>, 燕宪党<sup>1</sup>, 颜许<sup>1</sup>, 李奇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>常州星宇车灯股份有限公司, 江苏 常州

<sup>2</sup>河海大学机电工程学院, 江苏 常州

收稿日期: 2024年12月10日; 录用日期: 2025年1月3日; 发布日期: 2025年1月10日

## 摘要

注塑成型过程中, 不同的工艺参数设置会对制件性能产生不同的影响。针对PMMA材料, 采用控制变量法进行生产实验, 并对其不同变量下制件的拉伸强度、拉伸模量、弯曲强度、弯曲模量、冲击强度、维卡温度、热变形温度进行测量统计, 研究并验证了不同注塑温度和停留时间对其注塑制件性能的影响。结果表明: 随着料温的升高, 停留时间的加长, PMMA的冲击性能、强度、耐热均有不同程度的下降; 结合测试结果及标准要求, 建议PMMA注塑料温不要超过260°C。

## 关键词

注塑成型, 注塑温度, 停留时间

# Study on the Performance Verification of PMMA at Different Injection Temperature and Holding Time

Ling Tong<sup>1</sup>, Pengcheng Zhang<sup>1</sup>, Xiandang Yan<sup>1</sup>, Xu Yan<sup>1</sup>, Qi Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Changzhou Xingyu Automotive Lighting Systems Co. Ltd., Changzhou Jiangsu

<sup>2</sup>College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou Jiangsu

Received: Dec. 10<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2025; published: Jan. 10<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

During the injection molding process, different process parameters will have different effects on the performance of the parts. Using the method of controlled variables, production experiments were conducted on PMMA materials, and the tensile strength, tensile modulus, bending strength, bending modulus, impact strength, Vicat temperature, and heat deflection temperature of the parts were measured and statistically analyzed under different variables. The study and verification were

conducted on the influence of different injection temperatures and holding times on the injection molding properties of PMMA. The results show that as the material temperature increases and the holding time increases, the impact performance, strength, and heat resistance of PMMA decrease to different degrees; based on the test results and standard requirements, it is recommended that the injection temperature of PMMA not exceed 260°C.

## Keywords

Injection Molding, Injection Temperature, Holding Time

Copyright © 2025 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. 前言

随着当今科学技术的发展, 生产制造水平的提升, 人们对于汽车外观品质及性能的追求不断提高, 因此对于材料的性能要求也更为严苛。聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)材料又称为有机玻璃, 是常见的工程塑料之一。具有高机械强度, 表面高光泽度[1], 优异的耐候性、耐摩擦性、耐化学性等杰出的综合性能[2], 因此被广泛应用于汽车、航空航天、建筑业、通信多媒体[3]、医疗等行业[4]。注塑成型工艺流程是循环的周期过程, 包括加料、塑化、注射、冷却固化和脱模等几个工序, 主要包括塑化、填充、保压、冷却4个阶段[5]。在汽车行业中, 以PMMA为原材料注塑成型的产品, 被广泛应用于生产制造汽车内饰仪表装饰件, 前后门窗框装饰外板, 汽车格栅装饰件、车灯等产品中[6]。

登朝魏等重点阐述了高性能的聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)注塑成型产品在模具温度、料筒温度、注射压力、注射速度、螺杆选择及转速、背压等方面的成型工艺参数设置[7]。唐婧等研究了注射速率、注射压力、保压压力、保压时间和熔体温度五个参数对高流动抗冲共聚聚丙烯冲击强度和弯曲模量的影响, 并分析了注塑条件和力学性能的关系[8]。

通过以上研究, 了解到注塑过程中的不同参数对不同材料制件性能的影响程度, 但其中对PMMA材料注塑工艺参数的研究相对较少。本文从注塑温度及停留时间进行研究, 从而验证其对PMMA材料注塑制件性能的影响, 以提高制件性能。

## 2. 实验

### 2.1. 实验材料

从某供应商购入的PMMA塑料粒子。PMMA材料是一种无定形热塑性模塑料, 具有高机械强度、高表面硬度和耐磨性, 以及高透光率和良好的耐热性。广泛应用于光学及应用、透明板材原材料以及高硬度高透明的亚克力制作中。在汽车领域中, 广泛应用于照明、光扩散、以及灯罩等方面。

### 2.2. 实验设备与仪器(表 1)

Table 1. Main instruments and equipment for experiments

表 1. 实验用主要仪器与设备

设备名称	型号	生产厂家
注射成型机	海天	190T

续表

简支梁冲击试验机	HIT5.5P	Zwick
万能材料试验机	Z010	Zwick
热变形维卡软化点温度测定仪	HDT/V 3215	承德市金建检测仪器有限公司

### 2.3. 试样制备

由于 PMMA 具有一定的吸水性, 并且少量的水分就会导致降解, 为了避免注塑工艺引起的外观注塑缺陷, 因此固化常用的注塑条件, 故加工前将 PMMA 置于热风循环干燥箱中干燥 4~8 h, 温度为 90℃。注塑机的注塑压力设定为 65~85 MPa, 螺杆转速设定为 45 rpm。

如表 2 所示, 注塑料温: 螺杆中粒子最高料温, 验证范围从 230℃~275℃。停留时间: 从储料开始, 到零件注塑成型的时间。制备时, 机台螺杆内原料排空干净, 重新进行储料, 储料后生产第一模, 周期就是验证的停留时间, 生产第二模才能取件使用, 第一模报废, 以上循环生产, 共生产停留时间为 2 min、4 min、6 min、8 min、10 min、15 min 六个批次的样件。试样制备完成后, 将标准样条在室温下放置 48 h 后再进行相应性能测试。

Table 2. Experimental procedure and result

表 2. 实验步骤与结果

停留时间/min	2 分钟停留			.....	15 分钟停留		
	注塑温度/℃	第一模	第二模		机台动作	.....	第一模
230	X	√	机台内原料排空	.....	X	√	机台内原料排空
240	X	√	机台内原料排空	.....	X	√	机台内原料排空
250	X	√	机台内原料排空	.....	X	√	机台内原料排空
260	X	√	机台内原料排空	.....	X	√	机台内原料排空
270							
275							产品水丝

X 代表产品报废; √代表产品使用。

## 3. 试验结果分析

### 3.1. 不同注塑料温、停留时间下的拉伸性能分析

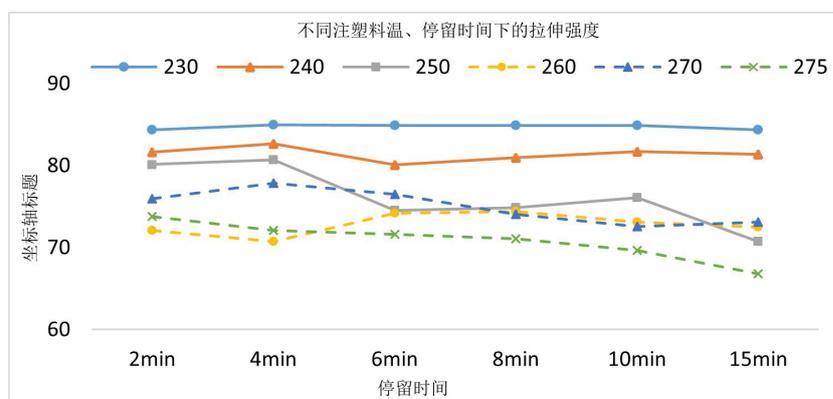


Figure 1. Statistical diagram of tensile strength under different injection temperature and holding time

图 1. 不同注塑料温、停留时间下的拉伸强度统计图

在拉伸性能方面,如图 1 所示,展示了 PMMA 试制样件在不同注塑料温与停留时间下样件的拉伸强度变化。从 230℃ 到 275℃,随着料温的升高,试制样件的拉伸性能不断下降;从 2 min 到 15 min,随着停留时间的加长,注塑同等料温低于 250℃ 的样件拉伸性能相对稳定,250℃ 及以上拉伸性能则逐步降低。

**Table 3.** Statistical table of tensile strength under different injection temperature and holding time  
**表 3.** 不同注塑料温、停留时间下的拉伸强度统计表

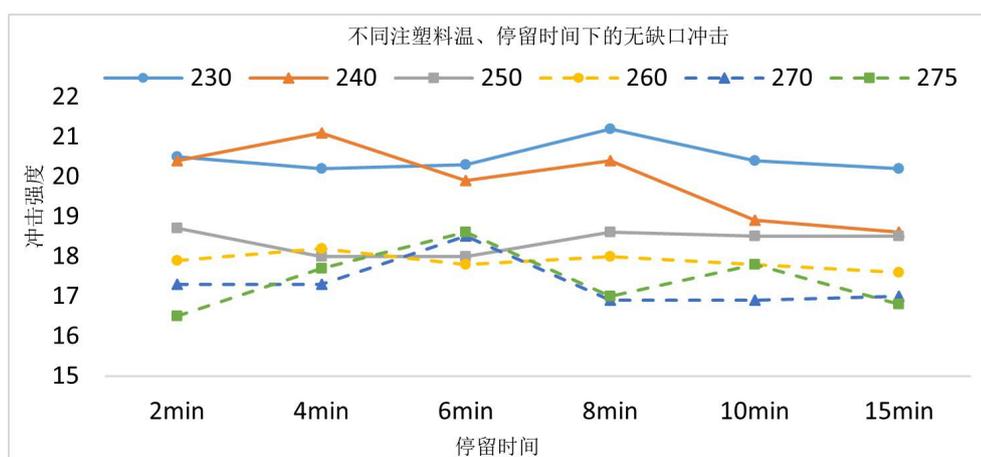
注塑料温/℃	停留时间/min	2	4	5	8	10	15
230		○	○	○	○	○	○
240		○	○	○	○	△	△
250		△	△	△	△	√	√
260		√	√	√	√	√	√
270		√	√	√	√	√	√
275		√	√	√	√	√	√

○优秀 > 80 Mpa; △良好 70~80 Mpa; √合格 60~70 Mpa; ×不合格 < 60 Mpa。

其中,注塑料温在小于等于 250℃,停留时间小于 8 min 时,样件的拉伸性能优良,注塑料温大于 250℃,停留时间大于 8 min 后,样件的拉伸性能只能达到合格,如表 3 所示。

这是由于当注塑温度升高和停留时间加长,PMMA 的熔体粘度降低,流动性增强,这可能导致在填充模具时更易于形成完整的制品。但如果注塑温度过高或停留时间过长,就会超出材料的热稳定性极限,导致分子链的过早降解或交联,从而影响材料的拉伸性能。

### 3.2. 不同注塑料温、停留时间下的冲击性能分析



**Figure 2.** Statistical chart of impact strength under different injection temperature and holding time  
**图 2.** 不同注塑料温、停留时间下的无缺口冲击强度统计图

在冲击性能方面,如图 2 所示,展示了 PMMA 试制样件在不同注塑料温与停留时间下样件的无缺口冲击强度变化。从图 2 看 250℃~275℃ 温度、6 min 相同停留时间时样件无缺口冲击强度之间差异较小,随着注塑温度的升高,样件的无缺口冲击强度有所下降,同等注塑温度的样件随着停留时间的延长,对

冲击强度影响波动不大。

**Table 4.** Statistical table of impact strength under different injection temperature and holding time

**表 4.** 不同注塑料温、停留时间下的冲击强度统计表

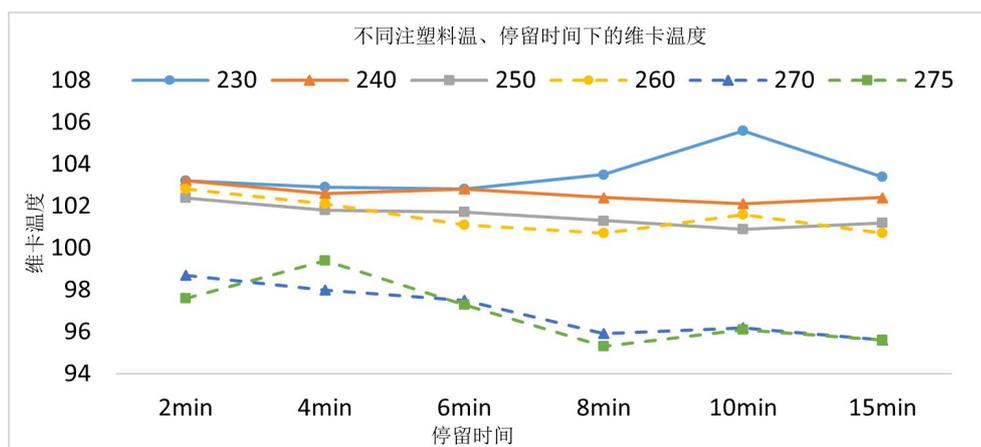
注塑温度/°C	停留时间/min						
	2	4	5	8	10	15	
230	○	○	○	○	○	○	
240	○	○	○	○	○	○	
250	○	○	△	△	△	△	
260	△	△	△	△	△	△	
270	△	△	△	△	△	△	
275	△	△	△	△	△	√	

○优秀 > 20 kJ/cm<sup>2</sup>; △良好 18~20 kJ/cm<sup>2</sup>; √合格 15~18 kJ/cm<sup>2</sup>; ×不合格 < 15 kJ/cm<sup>2</sup>。

其中，注塑料温在小于等于 275°C，停留时间小于等于 10 min 时，样件的冲击性能优良，如表 4 所示。

这是由于注塑料温过高或停留时间过长会导致材料降解，产生自由基，这些自由基会破坏 PMMA 分子链，减少材料的分子量和分之间的相互作用力，从而降低材料的冲击性能。高温还会加速 PMMA 的氧化过程，尤其是在空气中注塑时，氧气会与热降解产物反应，进一步恶化材料的冲击性能。

### 3.3. 不同注塑料温、停留时间下的维卡温度分析



**Figure 3.** Statistical chart of Vicat temperature under different injection temperature and holding time

**图 3.** 不同注塑料温、停留时间下的维卡温度统计图

在维卡温度方面，如图 3 所示，展示了 PMMA 试制样件在不同注塑料温与停留时间下样件的维卡温度变化。从 230°C 到 275°C，随着注塑料温的升高，样件的维卡温度不断下降，停留的时间延长对 260°C 及以下的样件维卡温度影响波动不大，270°C~275°C 样件随着停留时间延长维卡温度有所下降。

其中，注塑料温在小于等于 260°C 时，样件的维卡温度处于合格状态，当注塑料温大于 270°C 后，样件的维卡温度不合格，如表 5 所示。

**Table 5.** Statistics table of Vicat temperature under different injection temperature and holding time  
**表 5.** 不同注塑料温、停留时间下的维卡温度统计表

注塑温度/°C	停留时间/min						
	2	4	5	8	10	15	
230	√	√	√	√	√	√	
240	√	√	√	√	√	√	
250	√	√	√	√	√	√	
260	√	√	√	√	√	√	
270	×	×	×	×	×	×	
275	×	×	×	×	×	×	

√合格 > 100°C；×不合格 < 100°C。

这是由于温度过高导致 PMMA 分子链过早降解，从而降低材料的分子量和分子间作用力。分子量的降低意味着材料的热稳定性下降，因此在维卡软化温度测试中，材料更容易发生软化和变形，从而导致维卡温度的降低。

#### 4. 结论

本文采用控制变量法研究了注塑料温和停留时间对材料拉伸性能、冲击性能和维卡温度之间的影响，根据以上三组实验数据得出的结果与分析，我们可以得出以下结论：

- 1) 随着料温的升高，停留时间的加长，PMMA 材料会发生降解，从而导致样条的冲击性能、拉伸强度、耐热均有不同程度的下降；
- 2) 在实际生产中，结合测试结果和标准要求，为了保持 PMMA 样条具有良好拉伸性、冲击性及维卡温度，建议 PMMA 注塑料温不要超过 260°C。

#### 参考文献

- [1] 陈春玉, 王少楠, 胡迎. 聚甲基丙烯酸甲酯的合成及应用进展[J]. 广州化工, 2021, 49(9): 1-2.
- [2] 田统帅. PMMA 透明浇铸板阻燃体系设计与交联改性研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [3] 左杰, 田绍友. 甲基丙烯酸甲酯工业化合成路线及发展现状[J]. 天津化工, 2017, 31(3): 13-16.
- [4] Kaufmann, T., Jensen, M.E., Ford, G., *et al.* (2002) Cardiovascular Effects of Polymethylmethacrylate Use in Percutaneous Vertebroplasty. *American Journal of Neuroradiology*, **23**, 601-604.
- [5] 庞龙凤. 基于 CAE 汽车前灯注塑工艺参数的优化[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2014.
- [6] PMMA 在汽车行业的应用和拓展[J]. 汽车工艺与材料, 2008(11): 66-70.
- [7] 邓朝魏, 宋斌, 杨继红, 等. PET 注塑加工工艺对黏度的影响[J]. 石化技术, 2021, 28(7): 26-28, 46.
- [8] 唐婧, 李丽, 刘小燕, 等. 注塑条件对抗冲聚丙烯力学性能影响研究[J]. 广州化工, 2024, 52(2): 128-130.