

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.07.009

塑件收缩率测量方法及其影响因素分析^{*}

周必达, 姜少飞, 李吉泉^{*}

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对材料收缩率值的不确定性问题,对收缩率的测量方法及其影响因素进行了研究,对收缩率的计算方法进行了归纳,提出了基于热膨胀仪测量塑件收缩量来计算收缩率的方法,探讨了注塑成型工艺及热处理对收缩率的影响,分析了结晶度与收缩率之间的关系。选用等规聚丙烯为材料,采用不同成型工艺制备塑件,利用热膨胀仪分别测量热处理前后的塑件收缩量,分析了成型工艺与热处理对收缩率的影响。基于 DSC 测量塑件总体结晶度,分析了结晶度对塑件收缩的影响。研究表明,与工艺实验获得的收缩率进行对比和分析,可知采用热膨胀仪测量塑件收缩量来计算收缩率的方法是准确的,是一种简便易行的方法;快速变模温和热处理增大了塑件的结晶度,收缩量和收缩率随之变大,在模具设计过程中不可忽略。

关键词:收缩率;工艺实验;结晶度;快速变模温;热处理

中图分类号:TH14

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)07-0736-04

Measurement method of plastic shrinkage rate and analysis of its influencing factors

ZHOU Bi-da, JIANG Shao-fei, LI Ji-quan^{*}

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problem that uncertainty of shrinkage rate value of material, the measurement method of shrinkage rate and its influence factors were studied, the calculation method of shrinkage rate was summarized. A method to calculate the shrinkage rate was proposed, which was based on shrinkage of the plastic parts measured by the thermal expansion instrument. The influence of the molding process and heat treatment on the shrinkage rate was discussed, and the relationship between the crystallinity and shrinkage was analyzed. The parts were molded by different molding process from isotactic polypropylene. The influences of molding process and heat treatment on shrinkage were discussed, the shrinkage was measured and calculated both before and after heat treatment. DSC was introduced to measure the crystallinity to analyze the effect of crystallinity on shrinkage rate. The results indicate that the measurement and calculation method of shrinkage rate is correct and validated by comparing with the shrinkage rate from molding experiment. The rapid heat cycle molding and heat treatment increases the shrinkage rate because of the increases crystallization, which should not be ignored in the design of injection mold.

Key words: shrinkage rate; molding experiment; crystallization; rapid heat cycle molding (RHCM); heat treatment

0 引言

塑件在航天、汽车、家电和日常生活领域的应用越来越广泛,尺寸精度要求也越来越高。成型零件工作尺

寸计算是注塑模具设计的重要因素,而收缩率是计算工作尺寸的重要依据。目前,已有不少学者进行了收缩率测量方法、成型工艺对收缩率的影响的研究^[1-4]。

在塑件收缩率测量与计算方法方面,目前已有一

收稿日期:2017-01-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51575491);浙江省自然科学基金资助项目(LY15E050015)

作者简介:周必达(1991-),男,浙江台州人,硕士研究生,主要从事快速变模温注塑成型工艺方面的研究. E-mail:1556455639@qq.com

通信联系人:李吉泉,男,副教授,硕士生导师. E-mail:hutli@163.com

些学者做了相关研究。鉴冉冉等^[5]通过自主研发的聚合物压力-比容-温度(简称PVT)特性在线测试仪获得了聚合物真实成型工况下的PVT特性参数,得到了注射材料收缩率,并用于制品模具成型尺寸设计。倪晓燕等^[6]采用游标卡尺测量了不同PP试样的成型收缩量。BOARO等^[7]在研究聚合物的收缩变形和收缩应力时,采用水银膨胀仪测定了物体的收缩变形量。

在成型工艺对塑件收缩率的影响方面,华南理工大学结合CAE和正交实验设计研究了熔体温度、注射压力、保压压力、模具温度等工艺参数对注塑制品收缩率变化的影响,并获得了优化的工艺参数^[8-9]。同时,还有不少学者研究了影响收缩的工艺参数^[10-14]。上述研究并未涉及不同的成型工艺和热处理对塑件收缩率的影响。

本研究采用热膨胀仪测量塑件收缩量的实验方法,以快速变模温注塑成型和普通注塑成型制备的结晶型等规聚丙烯塑件为例,逆向给出其随温度变化的不同收缩量,以此来计算收缩率;同时,研究成型工艺和热处理对塑件收缩率的影响,利用DSC测量不同试样的结晶度,并分析结晶度对收缩率的影响。

1 实验

1.1 实验平台与材料

注塑机:HTFX5系列MA3800/2250,浙江宁波海天塑机集团有限公司;

高温卧式膨胀仪:PCY型,湖南湘潭湘仪仪器有限公司;

差示扫描仪:Q100,美国TA Instruments公司;

等规聚丙烯:PPH-T03,浙江宁波中石化有限公司。

1.2 试样制备及实验收缩率计算

本研究制备CIM、RHCM60℃和RHCM90℃的塑件,其中RHCM60℃和RHCM90℃表示将模具型腔表面加热到60℃和90℃后再充填。成型后的塑件在室温下存放一段时间待其尺寸和形状完全稳定后,用游标卡尺测量塑件上A、B两点间的距离 L_1 。塑件形状及测量位置如图1所示。

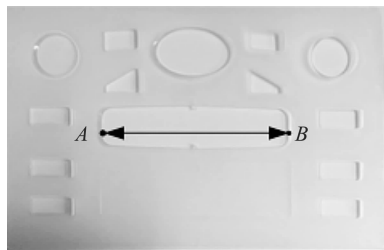


图1 塑件形状及测量位置

为减少实验中的误差,同一种工艺条件制备3个塑件测 L_1 后取平均值。同时测量室温下模腔对应两点之间的距离 L_0 ,计算收缩率 $S^{[15]}$:

$$S = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100\% \quad (1)$$

从塑件中截取40 mm × 10 mm × 3 mm的长方体试样,用于收缩量测量。其中的一半试样进行退火,具体退火工艺为120℃下保温2 h后放在室温下冷却。而另一半不做热处理。

本研究将试样进行切块,进行DSC实验,并采用文献[16]的方法计算试样的总体结晶度。

1.3 收缩量测量

塑件收缩量测量采用PCY型高温卧式膨胀仪,如图2所示。

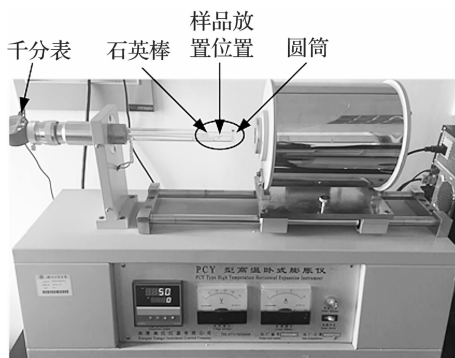


图2 PCY型高温卧式膨胀仪

试样右端紧贴圆筒的端面,左端紧贴石英棒。石英棒另一端用千分表顶杆轻压并让表读数为零。实验时使试样升温并测量试样收缩量随加热温度变化曲线,升温区间为40℃~120℃,升温速率为5/min。测量下个试样时,待石英棒完全冷却后再进行测量。

由于试样在40℃之前受热几乎不产生收缩量,故本研究的初始加热温度选为40℃。iPP的软化点为120℃~140℃之间。在注塑成型过程中,浇口温度高于软化点时,塑料的收缩可通过浇口从带保压压力的浇注系统中获得补缩。而浇口温度低于软化点时,浇口凝固,塑料的收缩将体现为塑件的收缩。因此,本研究选择120℃是试样加热的终点。

1.4 基于热膨胀仪测量的收缩率计算

经热处理试样在40℃~120℃加热温度区间的收缩量与加热温度有关,两者关系如图3所示。

基于热膨胀仪测量试样得到的收缩变化过程是试样在注塑成型过程中产生收缩的逆向过程。据此,本研究基于热膨胀仪测量试样加热温度为120℃的收缩量 R_1 来计算收缩率 Φ ,即:

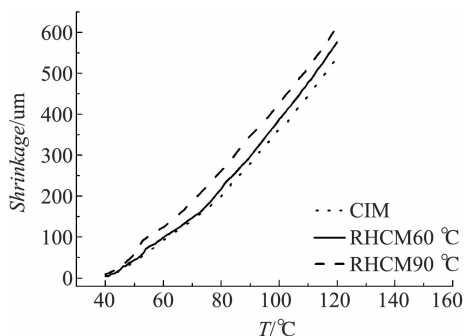


图3 试样收缩量与试样加热温度的关系

$$\Phi = \frac{R_1}{R_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中: R_2 —试样的初始长度。

为了减少实验中的误差,同一工艺条件制备 3 个试样,并分别测量收缩量取平均值进行收缩率计算。

2 结果与讨论

2.1 收缩率分析

工艺实验和基于热膨胀仪测量计算所得收缩率的结果如图 4 所示。

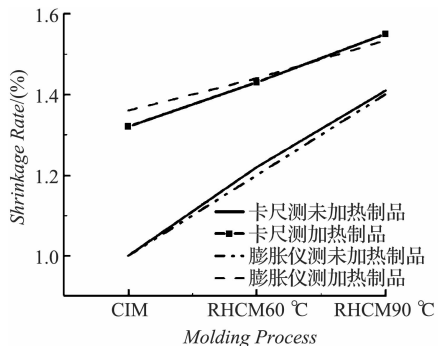


图4 不同测试方法得到不同试样的收缩率

从图 4 可以发现,在不同工艺、不同热处理条件下,基于热膨胀仪测量计算所得收缩率与工艺实验所得的收缩率误差相差均不超过 5%。因此,基于膨胀仪测量进行收缩率计算的方法是可行的、准确的。采用该方法可以通过在任一产品上取样进行测量计算得到收缩率,简便易行。

从图 4 还可以看出,未经热处理的试样中,RHCM90 °C 试样的收缩率最大,普通注塑成型试样的收缩率最小。

图 4 还表明,工艺条件和热处理的不同会引起收缩率的不同。因而,收缩率不仅与材料类型、牌号、批次有关,还与成型工艺过程及热处理直接相关。在不确定工艺条件和热处理方式的情况下,模具设计时直接根据手册选定收缩率与实际成型的收缩率往往存在较大的误差。

因此,要提高塑件的尺寸精度,在模具设计时必须考虑不同成型工艺和热处理对塑件收缩率的影响。

2.2 成型工艺对塑件收缩率的影响

本研究基于 DSC 测量不同成型工艺试样的结晶度, iPP 试样结晶度与成型工艺的关系如图 5 所示。

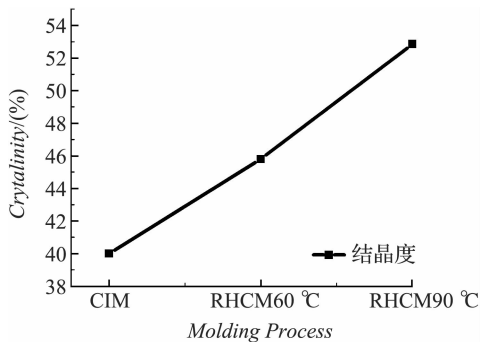


图5 iPP 试样结晶度与成型工艺的关系

从图 5 可以看出,RHCM90 °C 试样的结晶度最大,CIM 试样的结晶度最小。这是因为 RHCM 工艺在充填之前对模具型腔进行加热,使得充填时聚合物熔体与型腔表面之间的温度差减小,从而降低聚合物冷却速率,使聚合物保持相对较高温度完成充填。充填结束后,随着模具的冷却,聚合物以相对较低的速度缓慢冷却。

因而,在 RHCM 中,聚合物能够更加充分地结晶,使得大分子链有足够的运动能力进行有序的排列和晶体的生长,导致塑件脱模后的结晶度相对较高。

通过比较图 4 与图 5 可以发现,试样结晶度较大时,收缩率也较大。这是因为聚合物在结晶过程中分子由无规则线团状态变为紧密有序排列,从而体积会发生明显收缩;结晶度越大,塑件收缩越明显。

2.3 热处理对塑件收缩率的影响

基于 DSC 测量热处理后不同试样的结晶度如图 6 所示。

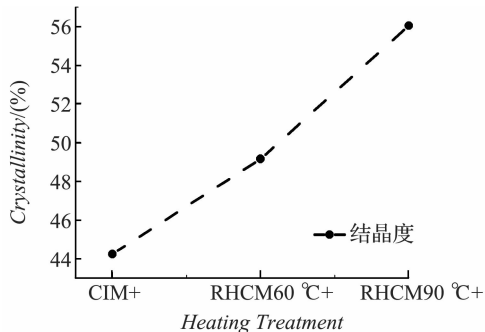


图6 热处理后不同试样与结晶度关系

从图 6 中可以看出,经热处理的 RHCM90 °C (简称 RHCM90 °C+) 试样的结晶度最大,经热处理的 CIM (简称 CIM+) 试样结晶度最小。

通过比较图5与图6可以发现,经过热处理后的试样比其未热处理的试样结晶度均有所上升。这是因为热处理使分子链发生松弛运动,一方面使原有球晶增大,另一方面进行二次结晶,生成新的次级结晶,减少晶区中的缺陷,提高了热处理后试样的结晶度,使得塑件的内部晶体结构更加完善。

从图4可以看出,本研究所用的热处理显著提高了试样的收缩率。这是因为热处理完善了试样内部结构,进一步提高了其结晶度。经热处理的试样受热时,由于试样内部结构完善和性能稳定使得晶体的膨胀不用弥补晶区缺陷和空隙,更有利于试样收缩量的增加,这使热处理过的试样收缩率比其未热处理有所提升。

3 结束语

本研究提出了基于热膨胀仪测量收缩量并计算收缩率的方法,研究了成型工艺和热处理对塑件收缩率的影响,分析了结晶度对收缩率的影响。

实验的结果表明:

(1)基于热膨胀仪测量收缩量并计算收缩率的方法是可行的、准确的,且简便易行。该方法所得的收缩率与工艺实验获得收缩率的误差均小于5%;

(2)快速变模温成型塑件的收缩率较传统注塑成型高。RHCM提高了塑件的结晶度,使其试样在受热时的收缩量比CIM试样大,从而收缩率也较高;

(3)本研究所用的热处理提高了塑件的收缩率。热处理改变了试样内部的结构,提高其结晶度,使试样在受热过程中收缩量比未热处理有所上升,从而收缩率上升。

参考文献(References):

- [1] 谭宇,黄汉雄.注射压缩工艺参数对制品收缩率及其均匀度的影响[J].工程塑料应用,2009,37(11):26-29.
- [2] DIAZ J A, YOUNGBLOOD J P. Multivariable dependency of thermal shrinkage in highly aligned polypropylene tapes for self-reinforced polymer composites[J]. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 2016(90):771-777.
- [3] ANNICCHIARICO D, ALCOCK J R. Review of factors that affect shrinkage of molded part in injection molding[J]. **Materials and Manufacturing Processes**, 2014, 29(6):662-682.
- [4] RANJBAR N, MEHRALI M, BEHNIA A, et al. A comprehensive study of the polypropylene fiber reinforced fly ash based geopolymer[J]. **Plos One**, 2016, 11(1):e0147546
- [5] 鉴冉冉,杨卫民,王建,等.聚合物PVT特性在线测试技术及在模具设计中的应用[J].中国塑料,2016,30(7):57-61.
- [6] 倪晓燕. GF增强PP成型收缩率的试验研究与数值模拟[D].南京:南京航空航天大学机电学院,2007.
- [7] BOARO L C C, GONÇALVES F, GUIMARÃES T C, et al. Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites[J]. **Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials**, 2010, 26(12):1144-1150.
- [8] 徐刚,瞿金平.动态注塑成型工艺参数对聚丙烯制品收缩率的影响[J].塑料,2007,36(5):62-65.
- [9] 周伟华,瞿金平.工艺参数对动态注塑成型制品品质的影响[J].塑料科技,2009,37(8):47-49.
- [10] AZAMAN M D, SAPUAN S M, SULAIMAN S, et al. Shrinkages and warpage in the processability of wood-filled polypropylene composite thin-walled parts formed by injection molding[J]. **Materials & Design**, 2013, 52(24):1018-1026.
- [11] SHELESH-NEZHAD K, ORANG H, MOTALLEBI M, et al. Crystallization, shrinkage and mechanical characteristics of polypropylene/CaCO₃ nanocomposites[J]. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, 2013, 26(4):544.
- [12] GRETHENBERGER G. Polypropylene/ethylene-propylene rubber (PP/EPR) blends for the automotive industry: basic correlations between EPR-design and shrinkage[J]. **Express Polymer Letters**, 2013, 8(4):282-292.
- [13] 王利霞,杨杨,王蓓,等.注塑成型工艺参数对制品收缩率变化的影响及工艺参数优化[J].高分子材料科学与工程,2004,20(2):173-176.
- [14] 王乾.基于Moldflow的多筋类塑件注塑成型参数优化[J].轻工机械,2015,33(4):87-89.
- [15] 倪晓燕,陶杰,钱惠慧.玻璃纤维增强聚丙烯制品翘曲变形的研究[J].工程塑料应用,2006,34(10):32-34.
- [16] HOUSMANS J W, STEENBAKKERS R J A, ROOZEMOND P C, et al. Saturation of pointlike nuclei and the transition to oriented structures in flow-induced crystallization of isotactic polypropylene[J]. **Macromolecules**, 2009, 42(15):5728-5740.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

周必达,姜少飞,李吉泉.塑件收缩率测量方法及其影响因素分析[J].机电工程,2017,34(7):736-739.

ZHOU Bi-da, JIANG Shao-fei, LI Ji-quan. Measurement method of plastic shrinkage rate and analysis of its influencing factors[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017, 34(7):736-739.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>