

微注塑拉伸试样设计及流动特性分析

王心超, 王利霞, 张勤星, 申长雨, 李 倩

(郑州大学 橡塑模具国家工程研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要:微拉伸试样的设计,是成功测试微尺度下力学性能的关键。文中设计了不同厚度微拉伸试样及相应的微注塑模具,分析了模具设计及尺度效应对微拉伸试样充填行为的影响,并研究了工艺参数对不同厚度微试样(0.1mm、0.2mm、0.5mm、1mm)充填行为的影响。短射实验表明,随着微试样厚度减小,在微试样有效拉伸长度内,熔体流动前沿呈现为一维平板流动;4个厚度下,0.5mm厚的熔体流动性明显优于其它3个尺寸。工艺影响实验表明,随注射速度、模具温度、熔体温度工艺参数的增加,熔体流动性增强。

关键词:微注塑成型;微拉伸试样设计;流动特性;尺度效应

中图分类号:TQ320.66⁺2

文献标识码:A

文章编号:1000-7555(2013)12-0117-04

随着微塑料制品广泛应用于通信、医学、微机电系统(MEMS)等领域,对其质量和性能提出了更高的要求^[1]。要成型高质量的微制品,除了选择合适的微成型方式、微成型设备外,还要设计模具结构及工艺参数,因为聚合物熔体在型腔内的流动,是尺度效应和注塑工艺综合作用的结果。Whiteside 等^[2]通过研究薄板(1.00mm、0.25mm)成型发现使用点浇口能有效改善熔体的流动性。Chu 等^[3]通过成型平板制品,再将制品冲压切成微拉伸试样,从而使微试样力学性能的检测结果受到影响。Yang 等^[4]主要研究了工艺参数对带有微结构薄板成型的影响,但未考虑模具尺寸的影响。

为了系统研究微制品的力学性能,本文设计了1套不同厚度的微拉伸试样(0.1mm、0.2mm、0.5mm、

1mm)和相应的模具;通过短射实验描述了尺度效应对熔体流动形态及特性的影响;结合单因素试验研究了工艺参数(注射速度、模具温度、熔体温度)对不同厚度微拉伸试样熔体充模行为的影响。

1 微拉伸试样及模具设计

1.1 微拉伸试样设计

由于微注塑成型技术发展时间不长,国内外关于微拉伸试样力学性能方面的研究也比较少,因此微拉伸试样的尺寸和检测还没有可参考的标准^[3]。本实验微拉伸试样采用一次注塑成型,从而提高了微拉伸试样力学性能检测的精度。参照文献中的设计^[3,4]及宏观塑料拉伸试样设计标准的基础上设计了微拉伸试样,同时考虑到后续力学性能实验的要求,微拉伸试样的整体设计尺寸如图1所示。

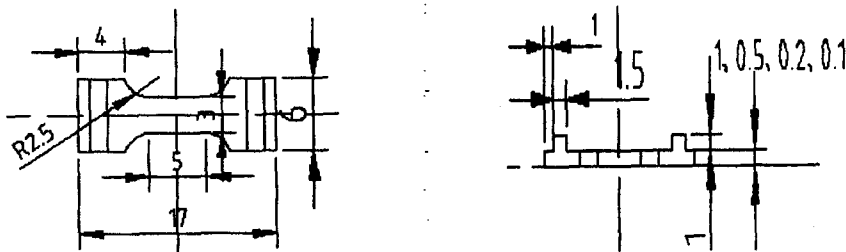


Fig.1 Plane Dimensions of the Micro Tensile Specimens (unit: mm)

收稿日期: 2012-11-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11372287);973 计划前期研究专项(2012CB626809)

通讯联系人: 王利霞,主要从事高分子材料成形加工及模具设计中的力学问题研究, E-mail: lxwang@zzu.edu.cn

微拉伸试样的两端设计了矩形储料槽。一是结构上的需要,增加储料槽方便专用夹具的夹持;二是微试样性能的需要,浇口端的储料槽起导流槽作用,使微试样有效长度段的充填为一维流动;末端的储料槽增加了等效流长,使有效长度段的微观结构及力学性能尽可能趋于一致。

1.2 微注塑模具设计

针对每一厚度的拉伸试样,设计 1 套活动模芯,每套模芯均为一模四腔,4 个腔的厚度相同。并均采用点浇口,位置在矩形储料槽部位。微拉伸试样浇注系统及模具芯块如 Fig.2 所示。

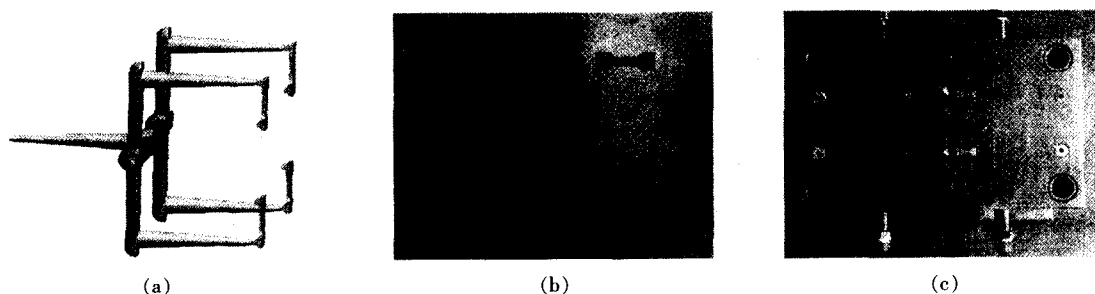
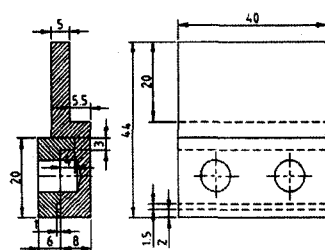


Fig.2 (a) 3D View of Delivery System; (b) the Mold Insert; (c) Assemblage of Mold Insert

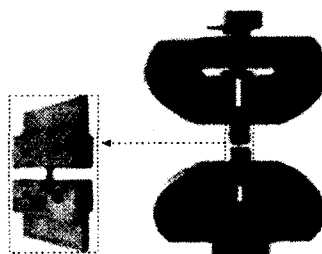
1.3 微拉伸试样辅助夹具的设计

由于试样尺寸微小,不能被拉伸机夹持,故需设计专用夹具夹持试样^[3]。根据微拉伸试样的尺寸和结构,辅助夹具由两部分组成:一部分是固定于拉伸机上;另一部分为可移动拆卸固定试样,尺寸如

Fig.3(a)所示。装配图如 Fig.3(b),夹具两部分之间用 2 个螺栓连接紧固,微试样的储料槽与辅助夹具的横向槽相配合,这样消除了拉伸试样与夹具之间可能发生的相对滑动,力学性能的测定更准确。



(a) structure size(unit:mm)



(b) experimental setup of the holder

Fig.3 Tensile Specimen Holder

2 微注塑成型实验设计

2.1 实验材料和微注塑成型机

本文所用的实验材料是中国石油天然气股份有限公司生产的等规聚丙烯(iPP, T30S),等规度 $\geq 95\%$,

熔体流动速率为 $2.9 \text{ g}/10\text{min} \sim 3.5 \text{ g}/10\text{min}$,拉伸屈服强度为 $355 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 。微注塑机为奥地利恩格尔公司 ENGEL Victory-28 微注塑成型机,其基本参数如 Tab.1 所示。

Tab.1 Basic Performance Parameters of the Micro Injection Molding Machine

Maximum injection speed	Maximum injection pressure	Mould locking force	Screw diameter
600 mm/s	$2.200 \times 10^8 \text{ Pa}$	280 kN	18 mm

note: the injection speed is forward velocity of the screw of micro injection molding machine

2.2 工艺设计

本文采用单因素成型实验,研究模具温度、熔体温

度、注射速度对不同厚度微拉伸试样充填的影响。基于实验结果,分析尺度效应对微拉伸试样充填的影响

规律。各工艺参数的设计如 Tab.2 所示。

Tab.2 The Processing Conditions for Experiments

Process parameters	Parameter settings									
Injection speeds (mm/s)	10	20	30	40	60	80	100	250	400	
Mold temperatures (℃)	60	80		100		120		140		
Melt temperatures (℃)	220	230		240		250		260		

3 结果与讨论

3.1 短射实验

通过短射实验,研究尺度效应对塑料熔体充填时流动特性的影响,实验结果如 Fig.4 所示。由 Fig.4(a)可知,随试样厚度增加,充填长度先增加后降低,在 0.5mm 时熔体流动性表现较其它 3 个尺寸都

好。由 Fig.4(b)可知,随试样厚度增加,型腔充填不平衡程度降低;熔体流动前沿面,在 1mm 厚时呈泉涌形态,小于 0.5mm 厚时,趋于二维平板流动模式。这是由于随着模腔厚度减小,熔体流动阻力增加,两侧熔体同时受剪切热效应及可能的壁面滑移的影响^[5,6],流动前沿面逐渐呈平齐状。

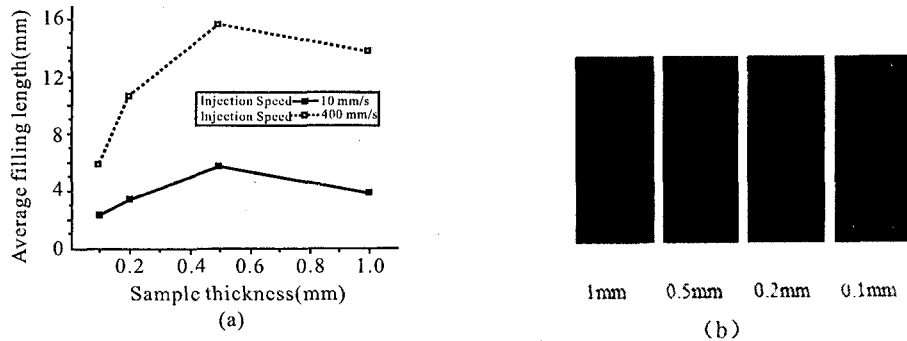


Fig.4 The Filling Length with Different Samples Thickness (a), and Flow Pattern of Samples with Corresponding Thickness(b)

3.2 工艺参数对流动特性的影响

3.2.1 注射速度的影响: Fig.5(a)显示了注射速度对微拉伸试样流动特性的影响。可见,对于同一厚度的微试样,充填长度均随着注射速度的增加而增加。对于不同厚度微试样,随着微拉伸试样尺度的减小,在相同的工艺条件下,熔体充填长度趋于减小。这是因为单位体积熔体与模具壁面接触面积增大,导致模腔内的流动阻力增加,热传导效应增强,熔体热损失增加^[7],黏度增大,流动性变差。因此微拉伸试样尺度

越小,要达到相同的充填长度,需要的注射速度就越大。

此外,还可看出,0.5mm 厚的微试样充填性能明显好于其它 3 个尺度。这是因为随尺度减小,微试样充填过程中熔体的剪切热效应和与壁面之间的热传导同时增强。工艺参数相同条件下,0.5mm 厚制品的剪切热效应的主导作用比其它 3 个尺度更明显;0.1mm 厚制品的热传导效应比其它 3 个尺度都明显。

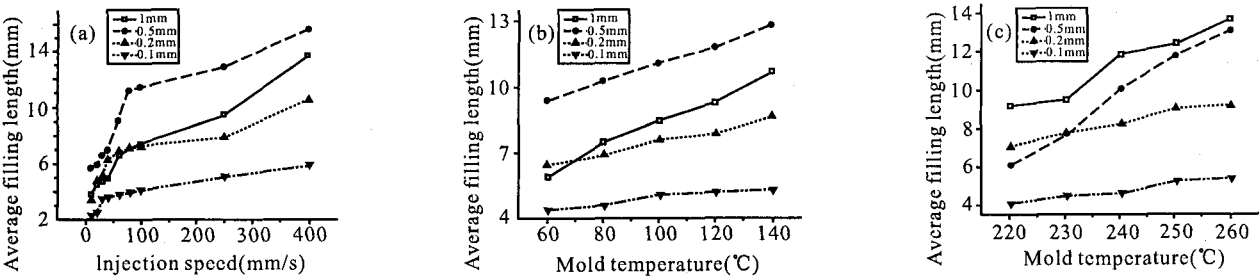


Fig.5 The Filling Length Under Different Injection Speeds (a), Different Mold Temperatures(b) and Different Melt Temperatures(c)

3.2.2 模具温度的影响: 实验结果(Fig. 5(b))显示了模具温度对微拉伸试样流动特性的影响。由图可知,对于同一厚度的微试样,充填长度均随着模具温度的升高而增加。当模具温度在 60 ℃ 至 70 ℃ 时,0.5mm 和 0.2mm 厚的微试样熔体流动特性好于其它 2 个尺度,而 70 ℃ 至 140 ℃ 时,0.5mm 厚的微试样熔体流动特性最好,1mm 厚的次之。这是因为随着模具温度的升高,熔体与模具壁面间热传导效应降低,熔体热损失减少^[8],1mm 厚的熔体剪切热效应比 0.5mm 制品弱,综合效应使得 1mm 制品的充填性能比 0.5mm 制品差。

由 Fig. 5(b)也可知,当试样厚度小于 0.5 mm 时,随着微拉伸试样厚度的减小,在相同的工艺条件下,熔体充填长度趋于减小。要达到相同充填长度,需要的模具温度也越高。

3.2.3 熔体温度的影响: Fig. 5(c)显示了熔体温度对各尺度下微拉伸试样流动特性的影响。由图可知,对于同一厚度的微试样,熔体充填长度均随着熔体温度的升高而增加。对于不同厚度的微试样,充填长度随着尺度的减小而减小。这是由于注射速度和模具温度不变,随尺度减小,剪切变稀效应增强,同时熔体的流动性还随着熔体温度的升高而增加,且熔体温度的升高对熔体流动性的影响起主导作用。

4 结论

本文设计了微拉伸试样及模具,研究了尺度效应及工艺参数对充填过程中熔体流动特性的影响。设计的微拉伸试样有利于后续拉伸力学性能的测试。短射

和单因素实验结果表明:(1)随着微拉伸试样厚度减小,熔体充模流动具有明显的尺度效应,壁面剪切热效应和热传导效应增强,熔体流动前沿趋于一维平板流动;(2)随着微拉伸试样厚度减小,熔体流动阻力和尺度效应增大,试样充填长度总体趋小;(3)微拉伸试样熔体充填长度均随注射速度的增加,以及模具温度、熔体温度的升高而增加。

参考文献:

- [1] 徐斌. 微注塑充模流动尺度效应及其模具关键技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [2] Whiteside B R, Martyn M T, Coates P D. Micromoulding: Process characteristics and product properties [J]. *Plastics, Rubber and Composites*, 2003, 32 (6): 231-239.
- [3] Kamal M R, Chu J S, Dourdour, *et al.* Morphology of microinjection moulded polyoxymethylene [J]. *Plastics, Rubber and Composites*, 2010, 39 (7): 332-341.
- [4] Yang S Y, Nian S C, Huang S T, *et al.* A study on the micro-injection molding of multi-cavity ultra-thin parts [J]. *Polymers Advanced Technologies*, 2011, 22(6): 891-902.
- [5] Wang L X, Li Q, Zhu W N, *et al.* Scale effect on filling stage in micro-injection molding for thin slitcavities [J]. *Microsystem Technologies*, 2012, 18(12): 2085-2091.
- [6] 姜开宇, 田净娜, 马家家, 等. 尺寸效应对多型腔注射成型过程影响的可视化实验[J]. *高分子材料科学与工程*. 2011, 27(11): 122-125.
Jiang K Y, Tian J N, Ma J J, *et al.* Visualization experiment for the impact of scale effect on filling imbalance of injection molding[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2011, 27(11): 122-125.
- [7] Kazmer D, Barkan P. Multi-cavity pressure control in the filling and packing stages of the injection molding process [J]. *Polymer Engineering and Science*. 1997, 37(11): 1865-1879.
- [8] Nian S C, Yang S Y. Molding of thin sheets using impact micro-injection molding[J]. *Polymer Processing*. 2005, 12(4): 441-448.

Design and Flow Characteristic of Micro Injection Molded Tensile Specimen

Xinchao Wang, Lixia Wang, Qinxing Zhang, Changyu Shen, Qian Li

(National Engineering & Research Center for Advanced Polymer Processing
Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: Design of micro tensile specimen is the key to determining the tensile properties successfully. Micro tensile samples with different thickness (0.1mm, 0.2mm, 0.5mm, 1mm) were designed, and the corresponding micro injection mold was made. Influence of mold design and scale effect on filling characteristic was investigated, and the influences of process parameters on flow pattern of micro samples with different thickness were also involved. The results of short shot experiments show that the melt front in the gauge length of micro sample gradually displays as 1D flow pattern with the decreasing of the thickness of the sample. The 0.5 mm part shows better flow characteristic than the others. The influence of the process parameters on filling behavior reveals that the melt flowability improves with the increasing of injection velocity, mold temperature, melt temperature.

Keywords: micro injection molding; design of micro tensile specimen; flow characteristic; scale effect