

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.09.014

微注塑充模过程中壁面滑移对熔体流动影响的研究^{*}

康红梅,艾红云,杨文剑

[中国地质大学(武汉)机电学院,武汉 430074]

摘要:针对微型塑料件注塑充模过程中,壁面滑移对流动的影响不可忽略的情况,运用流体分析软件 Fluent,以微阶梯圆形截面通道为模型,在考虑和不考虑壁面滑移的情况下,对微注塑充模流动过程中壁面滑移的影响进行了数值模拟。分析了细通道近壁面处熔体的剪切速率和黏度,发现考虑壁面滑移时近壁面处的剪切速率略大,黏度略低。研究了熔体在粗通道和细通道中沿径向的流动速度和温度分布,以及沿微通道流动方向上的压力分布。结果表明,考虑壁面滑移时熔体流动速度较大,与壁面接触的熔体流动速度不再为零,且微通道截面尺寸越小,这种现象越明显;考虑壁面滑移时近壁面处熔体温度略高,并且粗通道中的这种现象更明显一些;壁面滑移对微通道中的压力分布几乎没有影响。总体而言,壁面滑移有利于微注塑充模。

关键词:微注塑充模;壁面滑移;数值模拟;剪切速率;速度场

中图分类号: TG76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)09-0064-04

Study on Effect of Wall Slip on Plastic Melt Flow in Micro-injection Molding Filling

Kang Hongmei, Ai Hongyun, Yang Wenjian

(Faculty of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract : According to the conditions that wall slip can not be neglected during plastic micro-injection molding filling, using Fluent software and taking micro step-shaped round channel as model, effects of wall slip on the micro-injection molding filling was simulated numerically comparing with and without regard to wall slip. The shear rate and melt viscosity near wall were analyzed, it was found that the shear rate was slightly higher and the melt viscosity was slightly lower when considering wall slip. The influences of wall-slip on the distribution of flowing velocity and temperature along radial direction of melt in thick and thin channel, and the pressure distribution along flowing direction of the micro channel were studied. The results show that when considering wall slip, the flowing velocity is faster and the velocity of melt on the wall isn't zero, moreover, the more smaller the cross section size of the channel is, the more obvious this phenomenon is. The temperature of melt near wall is slightly higher when considering wall slip and this phenomenon in thick channel is more obvious. Wall slip almost has no effect on the pressure distribution. Overall, the wall slip is conducive to the micro-injection molding filling.

Keywords : micro-injection molding filling ; wall-slip ; numerical simulation ; shear rate ; velocity distribution

微注射成型方法是现代微机电系统技术的一个重要发展方向。由于微型塑料件结构尺寸微小,对微注塑充模流动产生影响的因素与宏观注塑有很大的不同,这些可能的因素包括熔体在微尺度下的黏度变化、熔体的壁面滑移、模具和熔体的温度、排气等^[1]。对于传统宏观注塑过程,一般认为熔体与通道壁面之间相对静止,即壁面速度无滑移,然而大量研究表明,在微注塑中壁面滑移对流动的影响不可忽略^[2]。

笔者利用流体分析软件 Fluent,选用微注塑常用材料丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS),对微阶梯圆形截面通道中熔体稳态模型进行模拟,对比考虑与不考虑壁面滑移的两种情况,得到壁面滑移对

近壁面处熔体剪切速率和黏度及熔体流动速度、温度和压力分布的影响,并对结果进行了分析,以求得到微注塑过程中壁面滑移的影响规律,为微注塑充模流动理论的建立奠定基础,并为微注塑模具设计和工艺参数的选择提供科学依据。

1 模型的建立

1.1 壁面滑移模型的建立

目前普遍认可的流体壁面滑移机理主要有两

^{*} 中国地质大学(武汉)中央高校基本科研业务费专项资金项目(2012079027)

联系人:康红梅,副教授,博士,主要研究方向为注塑模具 CAD/CAE、微注塑成型技术

收稿日期:2013-07-01

种。一种是以完全滑移的形式出现,通道壁面粘附着一个流体薄层,薄层内的流体存在一个较大的速度梯度,表现为熔体的壁面滑移,称为缠结-解缠机理;另一种则以粘-滑的形式出现,只有当流体在流道壁面处所受的剪切应力超过临界剪切应力时,流体才沿着流道壁面发生相对滑动,称为吸附-解吸附机理^[3]。

ABS 熔体在毛细管中发生壁面滑移的临界剪切应力值为 0.32 MPa^[4],而根据 $\tau_w = R \Delta p / 2L$ (采用的模型的截面特征尺寸即直径 $2R$ 约为 0.4 mm,模型入口与出口的压力差 Δp 为 130 MPa,长度 L 为 5 mm) 计算得塑料熔体与壁面间的剪切应力约为 2.6 MPa,远远超过临界值,可采用完全滑移模型。

基于微观熔体流动的缠结-解缠滑移机理,使用广义流体的 Navier 定律,建立考虑微注塑充模熔体流动过程壁面滑移影响的数学模型如下:

$$\tau_w = f_{\text{slip}}(v_w - v_s)|v_s - v_w|^{n-1} \quad (1)$$

式中: τ_w ——熔体在壁面处的切向剪切应力;

f_{slip} ——滑移系数;

v_w ——通道壁面的速度,取值 0;

v_s ——熔体在壁面上的切向速度;

n ——非牛顿指数,取值 0.235 4^[5]。

f_{slip} 如取无穷大时,表示无滑移发生, f_{slip} 的取值越小说明壁面滑移越剧烈;不同尺寸微通道中的 f_{slip} 存在一定的差异,当截面特征尺寸约为 0.4 mm 时, f_{slip} 可取 6.7×10^5 ^[6]。

1.2 模拟模型的建立

选用能充分体现微尺度流动特点且相对简单的微阶梯圆形截面通道模型,其尺寸如图 1 所示。

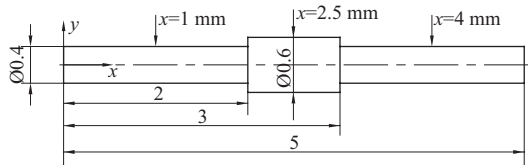


图1 微阶梯圆形截面通道模型

在 Gambit 中建立二维轴对称模型,采用四边形结构化网格对模型进行划分。边界处剪切速率较大,近壁面需划分边界层网格以提高计算精度。靠近壁面区域网格密度较大,靠近中心轴线区域网格密度较小,而阶梯部位速度变化较大需对网格适当加密。

注射时,熔体从左端面流入,右端面流出。入口设置为压力入口,出口设置为压力出口,其它通道壁面为壁面边界。设熔体温度为 200℃;微注塑时熔体流动阻力较大,散热相对较快,注射压力比宏观注

塑略高^[7],设定为 130 MPa;模具温度设为 80℃。

由于网格单元面积为 10^{-11} m^2 级别,尺度非常小,计算精度要求较高,在 Fluent 中采用二维双精度解算器求解。注塑过程为低压不可压缩流动,采用压力基求解器。ABS 的黏度随剪切速率变化大,迭代计算极不稳定,很难收敛,故将求解控制方程和变量的亚松弛因子设置为较小值。对于压力速度耦合方式求解的稳态问题,选择 SIMPLEC 算法更容易收敛。为了提高计算精度,压力方程采用标准差分格式,动量方程和能量方程采用二阶迎风格式^[8]。

2 模拟结果及分析

2.1 壁面滑移对近壁面区剪切速率和黏度的影响

取左细通道中间位置 $x=1 \text{ mm}$ 处的圆形截面(见图 1),考虑与不考虑壁面滑移时的近壁面区剪切速率和熔体黏度分布曲线如图 2 所示(其中横坐标的距离表示所选的圆形截面上的点到截面中心的距离,下同)。由图 2 可知,在近壁面区考虑壁面滑移时熔体的剪切速率比不考虑壁面滑移时略大,而剪切速率和剪切应力正相关,熔体的剪切稀化作用加强,黏度降低,因而在一定程度上壁面滑移促进了熔体的流动。

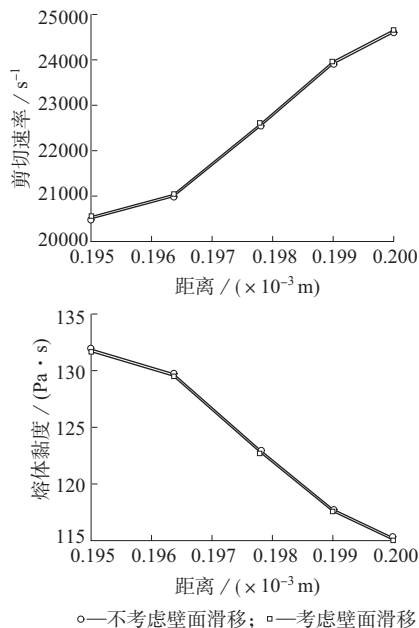


图2 考虑和考虑壁面滑移时近壁面区剪切速率和熔体黏度分布曲线

2.2 壁面滑移对熔体流动速度的影响

对考虑与不考虑壁面滑移的情况分别进行模拟,得出的速度场基本类似,在 x 和 y 方向均具对称性,在两端的细截面通道中速度值相对中间粗截面通道中的速度值较大,距壁面越远速度值越大,在中

间粗截面通道中近壁面处速度非常小,这容易造成注塑时充填不满。

取左细通道和粗通道中间 $x=1\text{ mm}$ 和 $x=2.5\text{ mm}$ 两处的圆形截面,分别对其径向上的熔体流动速度分布进行分析,如图3所示。由图3可以看出,考虑壁面滑移时熔体流动速度增大,与壁面接触的熔体流动速度不再等于0,而有一个滑移速度,在 $x=1\text{ mm}$ 的截面处速度变化约为 0.04 m/s ,偏差率约为 3.7% ,在 $x=2.5\text{ mm}$ 的截面处速度变化约为 0.007 m/s ,偏差率约为 1.1% 。由此可见,微通道截面尺寸越小,壁面滑移的影响越大。由于壁面的速度滑移,熔体整体流动速度略微加快,这在一定程度上有利于注塑时熔体充型流动。由于两端细通道互相对称,因此 $x=4\text{ mm}$ 处的速度曲线与 $x=1\text{ mm}$ 处的基本类似。

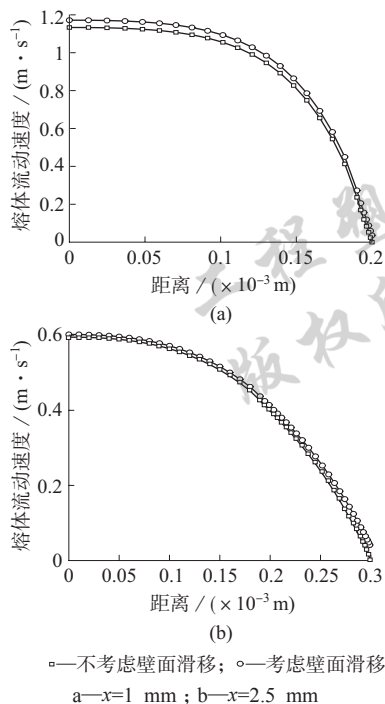


图3 考虑和不考虑壁面滑移时沿径向上的流动速度分布曲线

2.3 壁面滑移对温度分布的影响

塑料熔体与通道壁面之间自然对流换热,模具型腔壁面温度变化很小,模拟时近似当作恒温壁面,壁面温度 80°C 。

取粗通道和右细通道中间 $x=2.5\text{ mm}$ 和 $x=4\text{ mm}$ 两处的圆形截面,考虑和不考虑壁面滑移时沿径向上的温度分布曲线如图4所示。分析图4可知,壁面滑移对熔体温度影响不明显,只是在近壁面区考虑壁面滑移时的熔体温度略高,并且粗通道中的这种现象更明显一些,说明考虑壁面滑移时,

较大的微通道尺寸可提升近壁面区的温度。近壁面区温度较高可以减小冷凝层的厚度,减小充型阻力,且在一定程度上提高注塑充填的效果。由于两端细通道互相对称,因此 $x=1\text{ mm}$ 处的温度曲线与 $x=4\text{ mm}$ 处的基本类似。

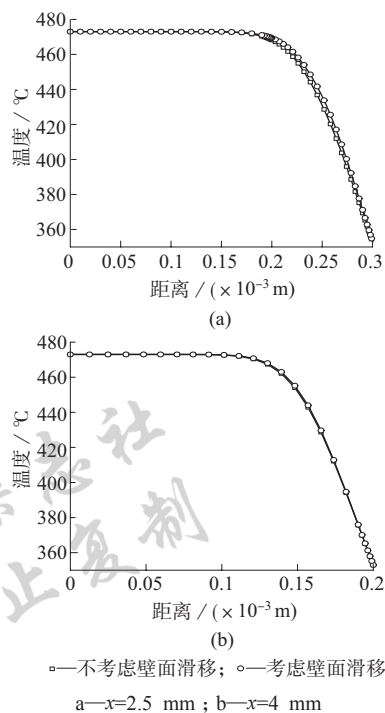


图4 考虑和不考虑壁面滑移时沿径向上的温度分布曲线

2.4 壁面滑移对压力分布的影响

沿微通道流动方向上的熔体压力分布曲线如图5所示。从图5可以看出,考虑和不考虑壁面滑移时的熔体压力分布曲线几乎完全重合,说明壁面滑移对熔体压力分布几乎无影响,在流动方向上熔体压力近似线性递减。

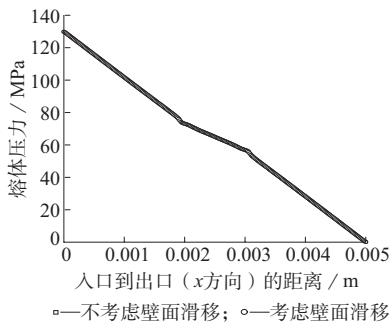


图5 考虑和不考虑壁面滑移时沿熔体流动方向上的压力分布曲线

3 结论

(1) 与不考虑壁面滑移相比,考虑壁面滑移时,近壁面区剪切速率略大、熔体黏度略低。

(2) 考虑壁面滑移时,沿径向上的熔体流动速度较大,与壁面接触的熔体流动速度不再为零,且微通

道截面尺寸越小,这种现象越明显。

(3) 考虑壁面滑移时近壁面处熔体温度略高,并且粗通道中的这种现象更明显一些;壁面滑移对微通道中的压力分布几乎没有影响。

(4) 总体而言,考虑壁面滑移有利于微注射成型。

参考文献

- [1] 于同敏,庄俭,王敏杰,等.微注塑成型中熔体充模流动的影响因素研究[J].塑性工程学报,2007,14(6):185-189.
Yu Tongmin, Zhuang Jian, Wang Minjie, et al. Study on the influence factors on the filling flow for polymeric melt in micro injection molding[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2007, 14(6):185-189.
- [2] Yao D G, Kim B. Simulation of the filling process in micro channels for polymeric materials[J]. J Micro-mech and Microeng, 2002, 12(5):604-610.
- [3] 于同敏,庄俭,王斌,等.微注塑成型流动中熔体壁面滑移的研究[J].高分子材料科学与工程,2007,11(6):20-23.
Yu Tongmin, Zhuang Jian, Wang Bin, et al. Study on wall slip in micro injection molding flow[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2007, 11(6):20-23.
- [4] 吴其晔,巫静安.高分子材料流变学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [5] 布林克曼,施马赫腾贝格.国际塑料手册[M].任冬云,等译.北京:化学工业出版社,2010.
Brinkmann O B, Schmachtenberg O. International plastics handbook[M]. Ren Dongyun, et al, translate. Beijing:Chemical Industry Press, 2010.
- [6] 庄俭.微注塑成型充模流动理论与工艺试验研究[D].大连:大连理工大学,2007.
Zhuang Jian. Research on filling flow theory and processing experiment in micro injection molding[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2007.
- [7] 庄俭,于同敏,王敏杰.微注塑成形中熔体充模流动分析及其数值模拟[J].机械工程学报,2008,44(9):43-49.
Zhuang Jian, Yu Tongmin, Wang Minjie. Analysis and numerical simulation of polymer melt filling in micro injection molding[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(9):43-49.
- [8] 于勇.FLUENT入门与进阶教程[M].北京:北京理工大学出版社,2008.
Yu Yong. Fluent introductory and advanced tutorial[M]. Beijing:Beijing Institute of Technology Press, 2008.

轿车前端托架可以完全由塑料制造

轿车前端托架现在可以完全由塑料制造,如新型斯柯达晶锐(Skoda Octavia)。其前端托架由DurethanDP BKV 60 H2.0 EF制造,该材料是朗盛公司制造的高度增强聚酰胺,玻璃纤维质量分数为60%。该结构件的特点是未使用任何金属板增强件。朗盛结构组件专家Boris Koch解释说:“我们的高技术聚酰胺具有极高的刚度和强度,这正是取得这一成果的原因。利用这些材料可以制造结构复杂的薄壁托架。”轻量组件由德国Faurecia塑料汽车系统有限公司设计制造。

(慧聪网)

为发挥页岩气优势陶氏拟将扩大PE产能

近日,陶氏化学公司总部高层表示,公司拟将在其德克萨斯州Freeport工厂扩大Elite牌聚乙烯(PE)及Affinity牌聚烯烃塑料产能。此外,陶氏还将进一步扩大其路易斯安那州普拉克明工厂低密度聚乙烯的产能。

陶氏并未过多透露投资金额及扩产细节。至于工程项目开工时间,陶氏高层表示会尽快拟定方案。据悉,该扩能产品将在食品包装、消费品包装、通讯设施等领域得以广泛应用。

陶氏高层在新闻发布会上说道:“此次大规模产能扩张是陶氏美国投资策略的重要组成部分,旨在充分发挥墨西哥湾沿岸页岩气的能源优势。”近年来,随着北美页岩气开采技术的不断提高,越来越多石化公司开始专注于PE及相关产品的生产。

此次产能扩张的工厂均隶属于陶氏高性能塑料业务单

元。今年上半年,该业务单元销售业绩为72亿美元,位居陶氏旗下6大业务单元之首。身为化工巨头,陶氏是全球最大的PE及特种塑料生产商之一。

(Plastics News)

巴西塑料贸易逆差将持续5年时间

虽然巴西政府一直在扶持本土塑料产业,并鼓励它们出口,但是该国的塑料贸易逆差一直都存在,业内甚至认为巴西的这种贸易逆差将持续5年时间。

受益于下游需求的增长,以及工程塑料优异的性能和取代传统材料的趋势,巴西工程塑料市场预计将会取得长足发展。今年上半年,巴西的塑料贸易逆差仍在持续扩大。据巴西塑料行业协会人士声称,今年上半年巴西塑料产品贸易逆差与去年同期相比增加13.7%,达到12.1亿美元。据巴西贸易部数据表明,该国上半年的塑料出口增加0.4%,达到6710万美元,而进口下降8.6%,达18.8亿美元。如果按照数量计算,巴西上半年的塑料进口量增长6.6%,达到356200t,而出口上升4.3%,达120300t。上半年,巴西从欧盟进口量占总进口量的24%,增长了11.8%;从美国进口量占16%,增长了10.8%;从亚洲进口占总进口量的32%,增长了8.5%。巴西塑料出口到欧盟下降了9.1%,出口到美国下降0.83%。

根据美国著名的咨询公司弗若斯特沙利文的研究报告显示,2012年至2017年,巴西工程塑料市场容量将从279.4万t增长至383.6万t,复合年增长率达到6.5%;销售收入由11亿美元增长至15.7亿美元,复合年增长率高达7.4%。2016年,巴西有望成为仅次于中国和美国的第三大汽车市场。

(雨果网)