

微齿轮注塑成型正交优化及数值模拟

Injection Molding Micro gear Orthogonal Optimization and Numerical Simulation

戴亚春¹, 王 匀¹, 周建忠¹, 陈 炜¹, 董 芳²

(1 江苏大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212013;

2 江苏省镇江市计量所, 江苏 镇江 212009)

DAI Ya chun¹, WANG Yun¹, ZHOU Jian zhong¹, CHEN Wei¹, DONG Fang²

(1 School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu China; 2 Zhenjiang Measurement Bureau, Zhenjiang 212009, Jiangsu, China)

摘要: 介绍了采用高聚物成型微齿轮的主要成型方法——微注射成型。比较了不同种类的注射原料 ABS、聚丙烯(PP)、聚碳酸酯(PC)的成型工艺,并就影响微注射成型中影响微制件质量的主要工艺过程:充模压力、熔体温度、模具温度和充填时间等进行数值模拟研究,采用正交优化方法对成型方案进行优化,获得优化的成型参数。为微齿轮成型模具的结构设计、成型工艺参数的合理化等等提供理论依据。通过对微齿轮成型过程的数值模拟优化,得到微注射成型的模具温度升高、注射压力增大、注射温度升高都会缩短充模时间;结果显示,聚合物材料对微注塑齿轮的适用性依次为:ABS>PP>PC。

关键词: 微注射; 微齿轮; 正交优化; 数值模拟

中图分类号: TQ311 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2010)07-0046-03

Abstract: Micro injection molding was employed in the micro polymer gears. The forming processes of different injection materials such as ABS, polypropylene (PP), polycarbonate (PC) were compared. The main process parameters influencing the micro-parts quality included injection pressure, mold temperature, injection temperature and filling time. Combined the numerical simulation with orthogonal optimization method, the injection forming was optimized to obtain the optimal process parameters, which was useful for the structure design of micro-gear die and process parameters. The simulation results showed that filling time could be shortened with the increase of molding temperature, injection pressure and injection temperature. It also showed that the availability of polymer material on the gear micro injection was as follows: ABS>PP>PC.

Key words: micro injection molding; micro gear; orthogonal optimization; numerical simulation

随着科学技术的进步, 机器和元器件不断向微型化方向发展, 微机电系统技术已相继应用于光电通讯、影像传输、生化医疗、信息存储、精密机械等领域, 如插头式光纤连接器、医学用微量泵、内窥镜零件、旋转传感器中的衍射光栅以及微齿轮等。根据最新研究表明, 随着对微型制品需求的增加, 有关微机电系统(MEMS)和微系统技术(MST)的产业市场值将由2005年的120亿美元增加至2009年的240亿美元。由于注射成型技术的各种优势及聚合物材料较其他材料的耐氧化、耐腐蚀、易成型、比强度高的优点, 使以高分子材料为主的微注射成型技术迅速发展, 成为微系统技术的重要分支和先进制造技术的研究热点^[1]。

微注射成型技术始于20世纪80年代末, 最早应

用于CD的加工, 德国在此方面的研究起步最早, 美国、日本等紧随其后。我国目前有清华大学微纳米中心、上海交通大学微纳米研究院、中科院力学所和中南大学模具技术研究所对微流体流动行为、微流体实验技术及微注射成型机理进行了一些卓有成效的研究探讨, 但都尚未开展实质性的工程应用。

用于微注塑成型的聚合物材料要具备低玻璃化温度、固化温度差值小、低黏度、高力学性能、热稳定性好等性能, 同时还要有良好的力学性能、光学性能等使用性能。一般的聚合物材料很少能同时满足加工和使用性的要求, 因此必须添加特殊助剂, 改变材料的一些性能, 以使其满足要求^[2]。现阶段用于微注塑成型的聚合物原料主要有ABS, PP, PA, PC, POM, PMMA,

PEEK, LCP^[3]。

本工作以微齿轮的注射成型为数值模拟对象, 模拟不同的注射工艺参数组合(注射温度、注射压力和模具温度)对充模时间的影响; 选择不同的注射原料(ABS, PP, PC)为模拟对象, 通过模拟来研究不同的原料对微注射成型的适应性进行比较, 获得合适的微注射原料; 并用正交优化的方法来优化注射工艺参数。

1 模拟采用的工艺条件

1.1 Navier-Stokes 流动方程

微注射成型模拟采用纳维-斯托克斯 (Navier-Stokes) 流动方程(即指实际流体的动量(运动)方程)来进行计算。因为在微观状态下流动的聚合物熔体在流动过程中会产生内摩擦力-剪切应力, 而传统的 Hele-Shaw 模型在模拟过程中忽略了熔体的流动惯量和变截面带来对熔体流动的影响^[4]; 并且, 传统的模拟过程必须选择制件的中性层来模拟, 耗时多。而随着微制件尺寸的微型化, 拐角绕流、壁厚变化、喷射流对熔体前锋料流的影响等因素必须在微制件成型模拟过程中加以考虑。由于 Hele-Shaw 模型不能解决这些问题, 不适应微观成型的模拟模型, 因此引入 Navier-Stokes 流动方程^[5, 6], 其模型对微制件的 3D 的真实模拟能够起到比较满意的效果。

1.2 模拟制件设计

微型齿轮的几何结构和几何尺寸如图 1 所示。

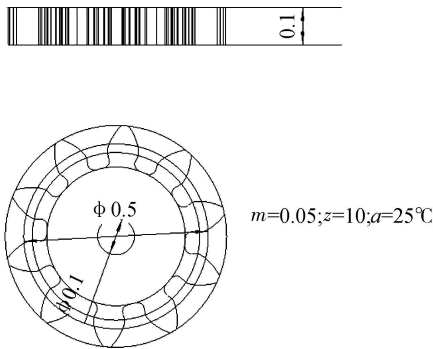


图 1 微型齿轮的几何尺寸图
Fig. 1 The micro gear geometry

采用 Moldflow 软件自带的网格划分功能对微齿轮划分 3D 有限元网格, 并进行必要的修补, 最后形成的网格如图 2 所示(图中带浇注系统)。

2 微齿轮的数字模拟

2.1 微齿轮注射成型工艺条件

选择三种注射用原料, 即 ABS, PP, PC, 其来源如

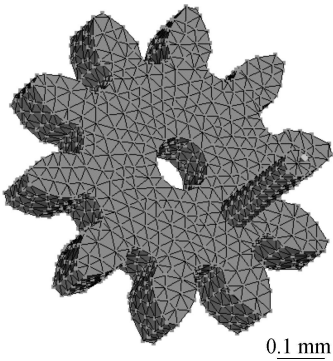


图 2 微型齿轮的网格划分

Fig. 2 the finite element mesh of the micro gear

表 1 所示。

表 1 塑料原料
Table 1 Plastic material

Material	Manufactory	Grade
ABS	UMG ABS Ltd	GF20
PP	BP Chemicals	BP Amoco 1046
PC	Dow Chemical USA	Calibre IM 40F18

2.2 充模模拟

图 3, 图 4 和图 5 分别显示出三种注射原料在典型时刻的充模状态

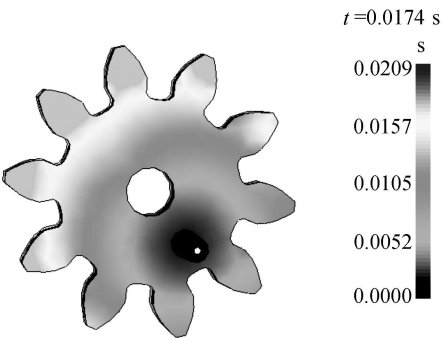


图 3 ABS 在 A2B2C2 条件下 $t=0.0174s$ 时候的充模状态
Fig. 3 ABS's fill stage ($t=0.0174s$, A2B2C2)

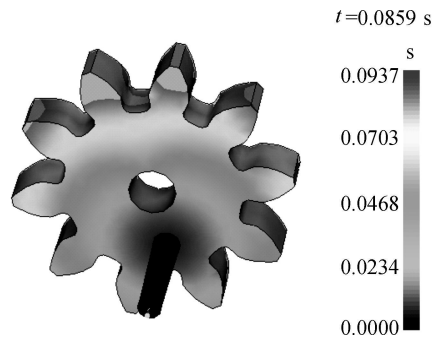


图 4 PP 在 A1B1C1 条件下 $t=0.0859s$ 时候的充模状态
Fig. 4 PP's fill stage ($t=0.0859s$, A1B1C1)

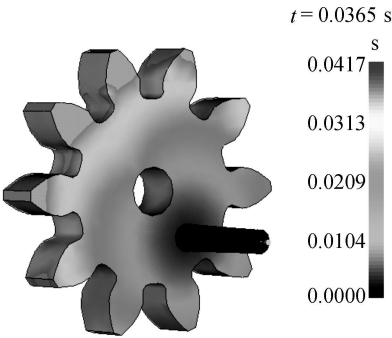


图 5 PC 在 A3B3C3 条件下 $t=0.0365\text{s}$ 时候的充模状态
Fig. 5 PC's fill stage ($t=0.0365\text{s}$, A3B3C3)

2.3 正交优化

在生产实践中,对于多因素影响因素参数优化搭配的问题,常采用正交优化的方法加以解决,它具有实验次数少,优化效果好简单易行的优点。因此在实践应用中,对改进加工工艺、提高质量、降低成本有很大的促进作用^[7]。

本工作建立如下的正交实验方法,见表 2。

表 2 正交表
Table 2 $L_9(3^4)$ orthogonal array

Experiment	A*	B*	C*	D*
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

* —A-Mold temperature/℃, B-Injection temperature/℃, G-Injection pressure/MPa, D-Injection time/s

对应的模拟成型工艺参数和模拟结果表 3~ 5 所示。

表 3 ABS 的主要成型参数
Table 3 The levels of operating parameters for ABS

Factor	Level 1	Level 2	Level 3
A-Mold temperature/℃	65	70	80
B-Injection temperature/℃	120	130	160
G-Injection pressure/MPa	120	130	150
D-Injection time/s	0.0213	0.0209	0.0208

表 4 PP 的主要成型参数
Table 4 The levels of operating parameters for PP

Factor	Level 1	Level 2	Level 3
A-Mold temperature/℃	105	110	115
B-Injection temperature/℃	230	240	250
G-Injection pressure/MPa	120	150	170
D-Injection time/s	0.0937	0.0936	0.0829

表 5 PC 的主要成型参数
Table 5 The levels of operating parameters for PC

Factor	Level 1	Level 2	Level 3
A-Mold temperature/℃	95	100	105
B-Injection temperature/℃	290	300	320
G-Injection pressure/MPa	120	150	170
D-Injection time/s	0.0524	0.0418	0.0417

对于 3 种原料的传统的成型工艺参数,如表 6 所示。

表 6 宏观的主要成型参数^[8]
Table 6 The process parameters of traditional injection molding

Material	Mold temperature/℃	Injection temperature/℃	Injection pressure/MPa
PP	20-50	180-220	110-120
ABS	30-50	220-250	110-120
PC	70-90	250-350	120-130

和宏观成型相比,微注射由于其尺寸效应和其他的微观效应,在许多成型参数与传统成型参数是不同的,并且有的相差较大,例如模具温度等等。

采用正交法,得到模拟优化参数如表 7 所示。

表 7 优化参数
Table 7 The optimal factor

Material	Mold temperature/℃	Injection temperature/℃	Injection pressure/MPa	Injection time/s
ABS	70	130	130	0.0209
PP	115	250	170	0.0829
PC	100	300	150	0.0418

对表中参数再行比较,ABS 在微成型注射中比 PP、PC 更容易成型。即成型适用性为:ABS>PP>PC。

3 结论

(1) 模具温度设定高,模具温度高于 T_g 以上。这是微注射成型于传统注射成型最重要的区别。因此,微注射的模具加热和模具冷却系统的设计是非常重要的设计。要提供成型过程中模具的升温 and 冷却。但是,随着模具温度升高,对充模时间的影响也逐步降低。模具温度过高也会给制件的脱模和成型周期带来较大的影响。

(2) 微注射的注射温度的高于传统的注射成型温度。为保证聚合物熔体充模的顺利进行,成型温度设

(下转第 53 页)

果希望获得较好的疲劳特性,则热处理制度更接近 HT1;反之,如果要提高损伤容限特性,则热处理制度更接近 HT2。

5 结论

(1)考虑到材料的工作应力,提出用稳定裂纹扩展阶段 $da/dN-3\Delta K/\sigma_b$ 关系表征材料的损伤容限特性。对航空常用金属材料铝合金、合金钢和钛合金的对比分析结果表明,采用 $da/dN-3\Delta K/\sigma_b$ 关系曲线能从工作应力下的裂纹扩展速率和失稳扩展时的临界裂纹长度两个方面较为全面地反映材料的损伤容限特性。

(2)建立了材料使用应力与疲劳寿命和裂纹扩展寿命的关系图,此图可以用来综合评价材料的静强度、疲劳和损伤容限特性,从而提高结构设计选材的准确性。另一方面也可由结构设计要求提出材料的力学性能指标来指导新材料的研制,使新材料的研制更具有针对性。

参考文献

[1] 曹春晓. 选材判据的变化与高损伤容限钛合金的发展[J]. 金属学报, 2002, 38A: 4- 11.

[2] DURET N. Titanium for damage tolerance applications on A380 [A]. Tr2003 Science and Technology [C]. Hamburg: DGM ,

2003.

[3] JEROME P. A380 结构的先进材料和技术 未来发展的技术平台 [J]. 航空维修与工程, 2003, 6: 50- 52.

[4] 杨守杰, 戴圣龙. 航空铝合金的发展回顾与展望 [J]. 材料导报, 2005, 19(2): 76- 80.

[5] HEINZ A, HASZLER A, KEIDEL C, et al. Recent development in aluminum alloys for aerospace application [J]. Materials Science and Engineering: A, 2000, 280(1): 102- 107.

[6] 曹春晓. 一代材料技术, 一代大型飞机 [J]. 航空学报, 2008, 29(3): 701- 706.

[7] VEMLATA R. A material selection model using graph theory and matrix approach [J]. Materials science and engineering: A, 2006, 431(1- 2): 248- 255.

[8] CHAN WK, TONG TK L. Multicriteria material selections and end of life product strategy: Grey relational analysis approach [J]. Materials & Design, 2007, 28(5): 1539- 1546.

[9] SHANIAN A, SAVADOGO O. A material selection model based on the concept of multiple attribute decision making [J]. Materials & Design, 2006, 27(4): 329- 337.

[10] 吴学仁. 飞机结构金属材料力学性能手册: 第 2 卷 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1996. 141- 142.

基金项目: 北京航空航天大学凡舟基金资助项目(20060502)

收稿日期: 2009-07-01; 修订日期: 2010-04-18

作者简介: 张纪奎(1979—), 男, 讲师, 博士, 主要从事结构损伤容限设计和复合材料设计工作, 联系地址: 北京航空航天大学飞机设计研究所(100191), E-mail: zjk@buaa.edu.cn

(上接第 48 页)

置较高,从而使熔体在较低的黏度下充模,但是,随着温度增加,影响注射时间的效果变得不明显了,因此,升高注射温度要注意对成型质量的影响。

(3)微注射的注射压力高于传统注射,注射压力增加,缩短注射时间,和注射温度类似,压力增加,注射时间下降的程度也越来越小。因此,合理地制定注射压力不仅可以降低对注射机的要求,也可以降低制品的内应力。

(4)通过正交优化,可得对该齿轮运用不同材料进行的模拟,得出各聚合物材料对微注塑成型的适用性,聚合物材料对微注塑成型的适用性: ABS> PP> PC。

参考文献

[1] 杨卫民. 微注射成型技术国际最新发展与应用 [J]. 塑料制造, 2009, 8: 49- 56.

[2] SHEN Y K, WU W Y. An Analysis of the three dimensional micro injection mold [J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2002, 29(3): 423- 431.

[3] SHEN Y K, SHIE Y J, WU W Y. Extension method and numeri-

cal simulation of micro injection molding [J]. Int Comm Heat Mass Transfer, 2004, 31(6): 795- 804.

[4] GEIGER M, KLEINER M. Microforming [J]. Annals of the CIRP, 2001, 50(2): 445- 462.

[5] HU B H, TONG K K, NIU X P. Design and optimization of runner and gating systems for the die casting of thin walled magnesium telecommunication parts through numerical simulation [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 105: 128- 133.

[6] 唐志玉. 塑料模流变学设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1991. 5- 8.

[7] 崔令江. 正交优化及其实际应用. 重型汽车 [J], 1994, (4): 21- 22.

[8] 龚浏澄. 塑料成型加工实用手册 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1990. 102- 300.

基金项目: 江苏大学“现代模具技术”科技创新团队资助(江大校[2008]18号); 中国博士后基金(20090451174)资助项目

收稿日期: 2009-10-20; 修订日期: 2010-04-25

作者简介: 戴亚春(1969—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为模具 CAD/CAE/CAM、模具优化设计、微成形研究等, 联系地址: 江苏大学机械学院机制系(212013), E-mail: yc69@ujs.edu.cn