

微齿轮注射成型数值模拟及正交优化

巫少龙

楼白杨

(衢州职业技术学院,衢州 324000) (浙江工业大学,杭州 310000)

摘要 基于 CAE 软件采用正交试验设计方案对微注射成型工艺参数如模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力、保压时间及冷却时间等与微齿轮制件质量的关系进行了数值模拟,并利用直观分析法和方差分析法对模拟结果进行了分析。结果表明,当模具温度为 40℃、熔体温度为 225℃、注射速率为 10 cm³/s、保压压力为 100 MPa、保压时间为 1 s、冷却时间为 20 s 时,制件的质量最优,其翘曲量为 0.0118 mm,收缩率为 0.2897%。

关键词 微注塑 微齿轮 正交优化 数值模拟

科学技术的进步使机器和元器件不断向微型化方向发展,微机电系统技术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^[1]。

随着微机电系统技术的不断发展,对微型制件的要求不断提高,以传统的微细加工技术成型的制件不能满足日益更新的要求。而以微注射成型方法成型制件,不仅生产效率高,而且成型质量稳定,成为了现代微细加工工艺一个重要的发展方向。

笔者针对国内外微注射成型实验与模拟研究的发展与现状,利用 CAE 软件 Moldflow 以聚丙烯(PP)微齿轮的注射成型为数值模拟对象,模拟模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力、保压时间、冷却时间等不同的注塑工艺参数组合对微齿轮制件产品质量的影响,并用正交优化的方法来优化注塑工艺参数^[2-3]。

1 实验模型及设计

1.1 实验材料的选择

微注塑材料的选择除了考虑材料的力学性能、化学稳定性等外,还要考虑材料的流变特性。国外文献报道提到适合微注射成型的材料主要有聚甲醛(POM)、聚碳酸酯(PC)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、PP 等。笔者选用 PP 作为微注射成型材料^[4]。

1.2 实验模型

利用 Moldflow 软件来进行仿真模拟实验,选取的制件模型为微型齿轮,采用一模四腔,为了保证齿轮的圆度,采用了直接三板模形式,建立了简单的冷却系统,模型见图 1。

1.3 实验设计

利用 Moldflow 软件进行仿真模拟实验处理时,将翘曲量、收缩率作为实验指标;将模具温度 A、熔

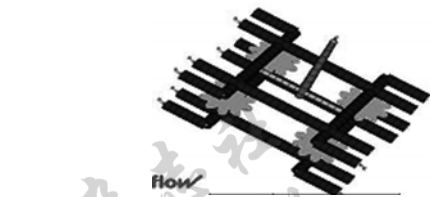


图 1 模型及冷却系统图

体温度 B、注射速率 C、保压压力 D、保压时间 E、冷却时间 F 等 6 个对微注射成型影响较大的工艺参数作为试验因素,采用正交试验来确定最佳工艺条件。正交试验的因素水平见表 1 所示。

表 1 正交试验的因素水平表

因 素	水 平		
	水平 1	水平 2	水平 3
A /℃	20	40	60
B /℃	225	240	255
C /cm ³ · s ⁻¹	10	20	50
D /MPa	60	80	100
E /s	1	5	15
F /s	10	15	20

2 结果与讨论

2.1 直观分析

(1) 工艺参数对制件收缩率的影响

由正交试验模拟结果得到工艺参数对制件收缩率的影响,如图 2 所示。

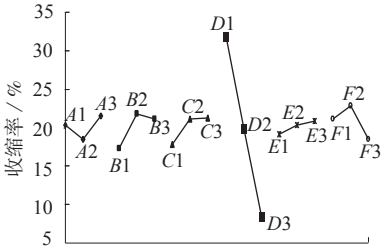


图 2 工艺参数对制件收缩率的影响

从图2可以看出,保压压力对制件收缩率的影响最大,随着保压压力的增大,收缩率减小。这是因为熔融树脂在保压压力的作用下受到压缩,压力越大,发生的压缩量越大,压力解除后的弹性回复也越大,因此收缩率越小。但过高的保压压力会造成脱模时残余应力增大,制件易变形、开裂。一般应该使保压压力略低于注塑压力,这样可以提高制件质量,减少内应力。

由图2还可知,熔体温度对制件收缩率的影响与保压压力存在差异性。在低温时,随着熔体温度的升高,收缩率增大,在高温时,熔体温度升高,收缩率反而减小。主要是因为熔体温度升高,随熔体带入模腔的热量增多,使模温升高,从而引起收缩率加大。而过高的熔体温度会加速材料的热降解,导致制件的性能劣化,同时模具的锁模力也要加大,这会增加模具和顶出机构的负担,同时冷却时间要延长,导致生产效率下降。另外,熔体温度对制件的收缩率的影响与所选材料有较大关系,有些材料收缩率随着熔体温度的升高而减小。

模具温度对制件收缩率的影响趋势与熔体温度相反,随着模具温度的增加,收缩率先减小后增大,增幅和降幅都较小。升高模具温度,会使制品出模后的热收缩率增大,使成型收缩率随之增大。而模具温度的升高,可以使制件的冷却速率变慢,使注塑压力充分发挥作用,减少模腔内的收缩,同时,出模后的弹性回复量变大。在成型中这两种现象是同时存在的,最终的收缩率是多种原因共同作用的结果,所以模具温度对收缩率影响存在着较大的不确定性。而从图2也可以看出此种不确定性的存在。

从图2还可知,制件收缩率随着注射速率的增加而增加,低流速区的收缩率比高流速区的收缩率变化幅度大。高速注射时,剪切作用加剧,分子定向作用增大,引起收缩率增大。但由于注射速率增大后,在相同注塑压力下,充模时间大大缩短,这有助于提高熔体在浇口凝固前的易充模性,相对地延长了补料时间,使制件更密实,同时高速充模也使剪切摩擦热增加,使熔体温度升高,取向程度下降,收缩率有降低的趋势。

从图2还可知,随着保压时间的增加,制件收缩率增大,但是其对收缩率的影响很小。随着冷却时间的增加,收缩率先增大后减小。在常规注射成型中,冷却时间延长,可使冷却均匀,制件充分固化,使收缩率减小,制件尺寸接近模具尺寸。冷却时间也

不宜过长,否则不但生产效率低,而且制件内部压力降到零以后进一步冷却可能在制件内部形成负压,冷却收缩使制件内外之间产生拉应力,产生变形^[5]。

(2) 工艺参数对制件翘曲量的影响

由正交试验模拟结果得到各工艺参数对制件翘曲量的影响,如图3所示。

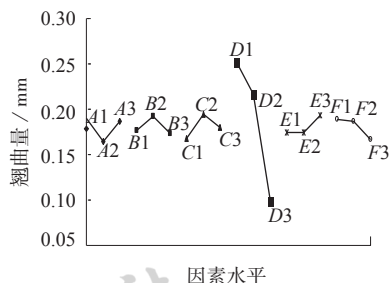


图3 工艺参数对制件翘曲量的影响

从图3可以看出,保压压力对制件翘曲量的影响最大,翘曲量随着保压压力的增大而减小。高保压压力能够降低制件收缩的机会,补充模腔的塑料熔体多可避免制件的收缩,使得收缩均匀,减小制件的翘曲变形。过低的保压压力,则可能出现熔体回流现象,或者模腔内的熔体没有被压实而形成较大的体积收缩率,导致翘曲;过高的保压压力会产生较高的流动残余应力和熔体的压应力,释放后容易翘曲。因此在实际应用中可以采用变保压过程,这样既可以减小制件的翘曲,同时又可以防止由于过高的保压压力产生高应力。

从图3还可以看出,随着熔体温度的升高,制件翘曲量先增大后减小。由于熔体温度的升高,可使得分子链在凝结之前有更多的时间和能量来进行扩散,从而有利于提高粘结度,也有利于取向的松弛,减少取向应力,减小翘曲量。但过高的熔体温度容易使材料产生降解,损害材料的物理性能,降低制件的质量。同时熔体温度高容易造成制件的体积收缩,也会增加制件翘曲的可能性。

从图3还可以看出,随着模具温度的增加,制件翘曲量先减小后增大。主要原因是当模具温度处于较低温度范围内时,制件的脱模温度与环境温度之间的差别较小,冷却相对均匀。模具温度升高所带来的模壁附近冷凝层增长速度减慢、型腔流动中心有效流通截面增大、有利于物料压实的作用比较明显,同时模具温度的升高还有助于减少制件内应力和取向度,减小制件的翘曲。当模具温度高于一定值时,随模具温度的升高,制件的脱模温度与环境温

度之间的差别显著,使脱膜时制件太热,热收缩率增大,引起翘曲变形。

从图 3 还可以看出,随着注射速率的提高,翘曲量先增大后减小,在低速区,翘曲量对注射速率的变化比较敏感。从分子结构形态角度看,提高注射速率会加强大分子的取向作用,使残余应力、表面应力增大,加大收缩,导致翘曲变形。另一方面,注射速率低会导致注塑过程中冷凝层的厚度增加,阻碍熔体的流动,产生较大的剪切应力,引起翘曲变形。

从图 3 还可以看出,保压时间对翘曲量的影响较小,翘曲量随着保压时间的延长而增加。这是由于延长保压时间使得取向度增大,使取向应力增加,翘曲量增加。

随着冷却时间的增加,翘曲量减小,且随着冷却时间的延长,翘曲量降幅也增大。冷却时间越短,出模时温度越高,其收缩率越大,翘曲量也越大。随着冷却时间的增加,冷却均匀,内应力减小,使翘曲量减小。

2.2 方差分析与贡献率的计算

由于试验结果数据较小,不利于计算,所以将翘曲量所有试验数据放大 100 倍,这样虽然使得偏差平方和和均方值变大,但根据方差分析的计算理论,最后计算得到的方差 F 和各因素的贡献率将不会改变。计算数据见表 2、表 3。

表 2 微齿轮的收缩方差分析结果

项目	偏差平方和	自由度 f	均方值	F	贡献率 / %
$A / ^\circ\text{C}$	0.785	2	0.393	1.171	1.49
$B / ^\circ\text{C}$	1.614	2	0.807	2.405	3.07
$C / \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0.959	2	0.479	1.429	1.82
D / MPa	44.751	2	22.376	66.702	85.02
E / s	0.495	2	0.248	0.738	0.94
F / s	1.265	2	0.633	1.886	2.40
误差	1.677	5			

表 3 微齿轮的翘曲方差分析结果

项目	偏差平方和	自由度 f	均方值	F	贡献率 / %
$A / ^\circ\text{C}$	0.673	2	0.337	0.994	2.78
$B / ^\circ\text{C}$	0.255	2	0.127	0.376	1.05
$C / \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	0.400	2	0.200	0.591	1.65
D / MPa	19.142	2	9.571	28.259	78.98
E / s	0.800	2	0.400	1.182	3.30
F / s	0.736	2	0.368	1.087	3.04
误差	1.693	5			

从表 2 可以看出,在 6 个工艺参数中,保压压力占着主导地位,其贡献率到 85.02%,而其他 5 个工艺参数的贡献率都在 10% 以下,熔体温度的贡献率居于第二。工艺参数对收缩率的贡献大小依次排序

为:保压压力 > 熔体温度 > 冷却时间 > 注射速率 > 模具温度 > 保压时间。

由表 3 可知,保压压力的贡献率仍然最大,为 78.98%。工艺参数对翘曲量的贡献的大小依次排序为:保压压力 > 保压时间 > 模具温度 > 冷却时间 > 注射速率 > 熔体温度。

以上分析结果表明,收缩率跟翘曲量有着紧密相连的关系。在翘曲的成型原因中,由于制件无法保压或过保压造成的收缩是翘曲形成的主要原因。但翘曲也不是完全依赖于收缩,在不合适的冷却效果下,也会生成翘曲。

2.3 最佳工艺参数

根据直观分析和方差分析的结果,得到最佳工艺参数为 $A2B1C1D3E1F3$,即模具温度 $40\text{ }^\circ\text{C}$,熔体温度 $225\text{ }^\circ\text{C}$,注射速率为 $10\text{ cm}^3/\text{s}$,保压压力为 100 MPa ,保压时间为 1 s ,冷却时间为 20 s 。

通过 MPI 程序模拟分析,得到优化工艺参数组合的模拟结果:翘曲量为 0.0118 mm ,收缩率为 0.2897% ,是所有试验中产品质量最好的,其模拟效果如图 4 所示。

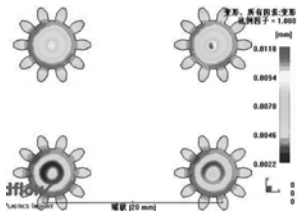


图 4 优化效果图

3 结论

通过正交试验设计方案对微注射成型工艺参数如模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力、保压时间及冷却时间等与微齿轮制件质量的关系进行了数值模拟。并利用直观分析法和方差分析法对模拟结果进行了分析。结果表明,保压压力是影响微齿轮翘曲量和收缩率至关重要的因素。最佳工艺参数为模具温度 $40\text{ }^\circ\text{C}$,熔体温度 $225\text{ }^\circ\text{C}$,注射速率 $10\text{ cm}^3/\text{s}$,保压压力 100 MPa ,保压时间 1 s ,冷却时间 20 s 。对所得到的最佳工艺参数进行了模拟分析,模拟结果验证了所选组合为最优组合。

参考文献

[1] 戴亚春,王匀,周建忠,等.微齿轮注塑成型正交优化及数值模拟[J].材料工程,2010(7):46-48.
[2] 郑少华,姜奉华.试验设计与数据处理[M].北京:中国建材工业出版社,2004.
[3] 谷净巍.薄壳注塑成型中熔体充填过程的模拟研究[D].长

春: 吉林大学, 2001.

Mass Transfer, 2002, 29(3): 423-431.

[4] Shen Y K, Wu W Y. An analysis of the three-dimensional micro-injection molding[J]. International Communications in Heat and

[5] 杨凤霞, 片春暖. 结晶型塑料注射制品收缩率影响因素分析[J]. 模具工业, 2005(11): 31-34.

INJECTION MOLDING MICRO-GEAR ORTHOGONAL NUMERICAL SIMULATION AND OPTIMIZATION

Wu Shaolong

(Quzhou College of Technology, Quzhou 324000, China)

Lou Baiyang

(Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China)

ABSTRACT Based on CAE software and using the orthogonal design programs, the relationship of micro-injection molding process parameters such as mold temperature, melt temperature, injection speed, packing pressure, packing time and cooling time etc. and the quality of micro-gear parts was simulated. By using visual analysis and variance analysis method, the simulation results were analyzed. The results showed that when the mold temperature was 40℃, the melt temperature was 225℃, the injection rate was 10 cm³/s, the holding pressure was 100 MPa, holding pressure time was 1 s, the cooling time was 20 s, the quality of the parts was best, the warpage was 0.118 mm, and the shrinkage rate was 0.289%.

KEYWORDS micro-injection molding, micro-gear, orthogonal optimization, numerical simulation

玻纤滤材走俏高温废气过滤市场

工业废气与废渣排放造成的环境污染,给人类生存与健康带来了危害。近年来国内外市场大力推出过滤材料,经实际使用,尼龙及聚丙烯等合成纤维不宜用作高温过滤材料,玻璃纤维基材产品为优质的耐高温、防腐过滤材料,广泛用于炭黑、电力、水泥、玻璃、冶金、钢铁、化学及医药等工业部门。

美国杜邦公司研制成功的玻璃纤维针刺毡,用 85% 的聚四氟乙烯纤维与 15% 的纺织玻璃纤维针刺在聚四氟乙烯网布上制成,能承受很强的化学侵蚀,在 250℃ 的高温条件下连续使用,压力损失低,透气性能好,使用寿命长,过滤效率可达 99.9% 以上。奥地利一家公司研制成功的玻璃纤维针刺毡,可以在 260℃ 左右的高温下使用,瞬间最高使用温度可达 287℃,滤袋使用寿命在 2 年以上,是脉冲喷吹除尘和反吹风除尘的优质过滤材料。日本一家公司研制成功的玻璃纤维复合过滤材料,是将聚四氟乙烯薄膜贴在玻璃纤维毡或玻璃纤维织物上。这种厚度为 20~30 μm 的聚四氟乙烯过滤薄膜是经过特殊处理的,能产生非常均匀的微孔结构,玻璃纤维毡及织物对这种带有微孔结构的聚四氟乙烯薄膜起增强作用。这种滤材可以在 -240℃ 及 260℃ 的条件下连续使用,具有耐化学药品性、压力损失低、处理风量大、使用寿命长等特点,过滤效率高达 99.9%。

在我国高温烟气过滤的工业部门中,玻璃纤维过滤材料已占主导地位。这是因为很多烟气过滤温度都超过 200℃,而玻璃纤维通过表面浸渍处理及其他特殊工艺处理后,可大幅度提高其耐磨、耐折和耐腐蚀性,从而能极大地满足有关工业部门的高温烟气除尘过滤的要求。(工塑)

巨石集团预计 2011 年玻纤销量 86 万 t

近日,中国玻纤一工作人员接受电话采访时表示,预计

2011 年巨石集团销售玻纤产品 86 万 t,较 2010 年增长 14%。

该人士表示,2010 年全球经济全面复苏,玻纤市场需求量回升,而 2011 年玻纤市场有望进一步波动向上,从而保证公司销量的增长。对于欧盟的反倾销,该人士表示,不必过度担忧。玻璃纤维产品目前尚无其他材料可以代替,中国是欧盟最主要的玻璃纤维产品来源地。玻纤生产线因资金密集、技术密集、建设周期长,欧盟生产商难以在短期内开辟和扩大新产能代替中国产品的巨大供应量,欧盟对中国生产的玻璃纤维产品刚性需求短期仍将持续。目前巨石集团对欧盟 27 个成员国的出口约占总收入的 15% 左右。

对于未来的产能,该人士表示,随着 2010 年九江和本部的生产线相继投产,玻璃纤维产能超过 90 万 t,目前 14 条生产线满负荷运转。该人士还表示,2012 年公司完成桐乡、九江、成都三大玻纤基地建设后,玻纤产品年产能将超过 150 万 t。

据该人士介绍,2010 年公司重点进行桐乡、九江、成都三大玻纤基地的投资建设,全年投资约为 19 亿元,2011 和 2012 年将继续进行投资。

据中国玻纤公告,公司的玻纤业务通过子公司巨石集团进行运作,持股比例目前为 51%。巨石集团目前生产规模居世界第一,玻璃纤维产能超过 90 万 t,占据全球份额 18%,规模优势显著,中国玻纤的营业收入及净利润 90% 以上来自于巨石集团。(中聚网)

中国 2010 年塑料制品出口量同比增 13.2%

海关总署公布,中国 2010 年塑料制品出口量同比增长 13.2%,达到 7426 674 t,初级形状的塑料进口量同比增长 0.4%,达到 2391 万 t。2010 年 12 月,中国塑料制品出口量为 663 321 t,初级形状的塑料进口量为 225 万 t。(工塑网)