

微注射成型机螺杆参数的优化设计*

庄 俭 吴大鸣 张亚军 周 洋 白 健

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要 借鉴传统注射成型技术,对微注射成型机的注射螺杆进行了结构优化设计。螺杆类型选择三段式渐变型结构,先初步设定符合微注射成型机要求的螺杆结构参数,通过建立数学模型对其进行优化设计,在获得优化螺杆结构参数的基础上,利用聚合物成型计算软件对物料的塑化过程进行数值模拟,分析熔体温度、固体剩余量、剪切速率等参数,最终得到螺杆的最优参数。

关键词 微注射成型机 螺杆结构参数 塑化模拟 优化设计

微注射成型技术是指注射制品质量以毫克为计算单位,几何尺寸以微米为度量单位的成型技术。在20世纪80年代,微注射成型技术的概念首次被提出,到了20世纪90年代中期,由于LIGA技术广泛应用于微型模具的制造中,这使得微注射成型技术得到迅速发展^[1-5]。目前,微注射成型技术广泛地应用在航空航天、精密仪器、生物医药、信息与环境 and 军事等领域。

微注射成型技术的主要研究内容包括微注射成型设备、成型过程基础理论、成型材料、成型模具、成型工艺及微塑件检测技术。由于相关领域的理论和技术本身还不成熟,因此,目前尚未形成能够指导微注射成型技术的系统理论和完善的成型方法^[6-9]。微注射成型机是微塑件加工成型的基础条件,尤其是注射单元的螺杆的结构优化设计及精密加工是机器性能的主要评价指标,是决定塑化、计量和注射精度及制品精度的重要影响因素^[10-14]。

笔者借鉴传统注射成型技术,初步设定符合微注射成型机特点的螺杆结构参数,并建立数学模型进行优化。然后使用Injection Molding Plastification软件对塑化过程进行数值模拟,通过对模拟结果进行分析,从而得到适合微注射成型的螺杆结构参数。

1 螺杆的设计及优化

1.1 螺杆结构与尺寸的确定

根据加工材料聚丙烯(PP)的特性,并借鉴传统注射成型机的螺杆结构,选择微注射成型机的螺杆结构为三段式渐变型,初步设定微注射成型机的工艺条件见表1。所设计的微注射成型机的螺杆直径D为14 mm,为了保证得到均质的熔体、高的塑化能力和稳定的注射过程,注射螺杆的长径比一般设计为18~22,笔者选取长径比为20。根据PP的加工特性及螺杆设计理论基础,初步选定螺杆各结构参

表1 微注射成型机的工艺条件

螺杆行程 / mm	注塑压力 / MPa	螺杆转速 / r · min ⁻¹	注射速度 / mm · s ⁻¹
40	250	400	800

数为:螺距 $S = D = 14$ mm,加料段螺槽深度 $H_1 = 3.43$ mm,选择系数 $K = 0.06$,得到计量段螺槽深度 $H_3 = KD = 0.84$ mm; n 为螺杆转速,剪切速率 $\dot{\gamma} = \pi D n / H_3 = 351$ s⁻¹;根据PP的黏度 $\eta = 1\,500$ Pa · s,选择压缩比 $\varepsilon = 3.8$,由此确定螺杆的基本尺寸参数见表2。

表2 螺杆的基本尺寸参数

加料段长度 L_1 / mm	压缩段长度 L_2 / mm	计量段长度 L_3 / mm	ε	螺杆头部锥度 / (°)	S / mm
70	141	69	3.8	20	14

1.2 螺杆参数优化

选取对塑化系统影响大的尺寸参数加料段长度 L_1 、压缩段长度 L_2 、计量段长度 L_3 以及各段螺槽深度 H 作为研究对象,螺棱宽度、螺槽宽度以及螺杆与机筒间隙则不在模拟范围之内。基于螺杆强度理论,通过对加料段、压缩段、计量段进行理论分析和数学模型的建立,对微注射螺杆的各项参数包括螺槽深度 H_1 和 H_3 、螺纹升角 θ 、螺槽宽度 W_b 、螺棱宽度 e 以及螺杆与机筒间隙 δ 进行优化设计,得出螺杆结构参数的最优解,计算结果见表3。

表3 螺杆结构参数的优化结果

H_1 / mm	H_3 / mm	θ / (°)	W_b / mm	e / mm	δ / mm
0.12	2.16	0.84	24.4	11.8	1.5

2 塑化过程

2.1 模拟过程

Injection Molding Plastification 软件是一款注射

* 中央高校基金项目(JD0905、ZZ1011)、北京市教育委员会项目
收稿日期:2010-12-06

成型塑化过程模拟软件, 它可以对在加工不同物料的情况下, 根据塑化系统 (主要包括螺杆、机筒等) 的参数以及塑化过程工艺参数进行数值计算, 模拟物料在塑化系统中的整个塑化过程并得到如固体床分布、熔体温度分布、剪切速率分布等模拟结果。通过对不同螺杆的塑化过程以及模拟结果进行分析, 最终实现螺杆参数的优化。

笔者主要研究螺杆几何参数对塑化过程的影响规律, 选取对塑化系统影响大的尺寸参数 L_1 、 L_2 以及各段螺槽深度 H_1 作为研究对象, 螺槽宽度 W_b 、螺棱宽度 e 及螺杆与机筒内壁的间隙 δ 设为定值, 选用所提到的优化结果, 即 $W_b = 11.8 \text{ mm}$, $e = 1.5 \text{ mm}$, $\delta = 0.12 \text{ mm}$ 。根据正交试验设计方法, 最终得到不同螺杆参数的 8 组数据, 见表 4。模拟中所设定的工作环境见表 5。在使用相同物料 PP 及相同工作环境的条件下, 分别对 8 根不同参数的螺杆进行模拟, 最终得到熔体温度、固体床剩余量、螺杆剪切速率及机筒剪切速率。

表 4 螺杆参数设置									
组数	L_1 / mm	L_2 / mm	L_3 / mm	H_1 / mm	H_3 / mm	g	W_b / mm	e / mm	δ / mm
1	71	140	69	2.16	0.84	2.4	11.8	1.5	0.12
2	71	140	69	3.43	0.84	3.8	11.8	1.5	0.12
3	81	130	69	2.16	0.84	2.5	11.8	1.5	0.12
4	81	130	69	3.43	0.84	3.8	11.8	1.5	0.12
5	91	120	69	2.16	0.84	2.5	11.8	1.5	0.12
6	91	120	69	3.43	0.84	3.8	11.8	1.5	0.12
7	101	110	69	2.16	0.84	2.5	11.8	1.5	0.12
8	101	110	69	3.43	0.84	3.8	11.8	1.5	0.12

表 5 设定工作条件					
螺杆直径 / mm	螺杆转速 / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	循环周期 / s	注射时间 / s	系统温度 / $^{\circ}\text{C}$	背压 / MPa
14	400	12	1	220	2

2.2 结果分析

(1) 熔体温度分析

数值模拟得到的各组实验的熔体温度数据如表 6 所示。从表 6 可以看出, 4 组 ~ 8 组的起始温度较低且波动较大, 1 组 ~ 3 组的起始温度较高且波动较小。根据螺杆设计准则, 熔体温度波动越小, 螺杆性能越稳定, 熔体越均匀, 所得制品均匀性越好, 故 1 组 ~ 3 组熔体温度数据相对其它组更加合理。

(2) 固体床剩余量分析

数值模拟得到的各组实验的固体床剩余量分布数据如表 7 所示。根据塑化原理可知, 螺杆轴向长度 25 mm 为螺杆压缩段与计量段的分界处, 固体在

表 6 熔体温度分布数据								
螺杆轴向长度 / mm	熔体温度 / $^{\circ}\text{C}$							
	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组	7 组	8 组
1	109.1	109.5	106.8	60.6	60.6	60.6	60.6	60.6
3	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0
7	179.2	179.0	178.4	175.9	176.3	176.3	176.3	176.3
11	195.4	194.8	193.6	188.2	186.5	186.5	186.5	186.5
15	204.0	203.3	202.3	196.6	194.8	194.8	194.8	194.8
19	213.8	208.3	212.2	207.2	205.0	205.0	205.0	205.0
23	217.8	210.3	217.2	214.4	212.9	212.9	212.9	212.9
27	224.4	220.5	223.9	222.9	220.6	220.6	220.6	220.6
31	227.4	226.1	227.3	226.9	226.2	226.2	226.2	226.2

表 7 固体床剩余量分布数据								
螺杆轴向长度 / mm	固体床剩余量							
	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组	7 组	8 组
1	0.41	0.40	0.42	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
3	0.41	0.40	0.42	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
4	0.37	0.37	0.38	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
7	0.31	0.30	0.30	0.63	0.62	0.62	0.62	0.61
10	0.20	0.19	0.21	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52
13	0.10	0.10	0.12	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
16	0.03	0.03	0.05	0.34	0.36	0.36	0.36	0.36
17	0	0.02	0.03	0.30	0.33	0.33	0.33	0.33
18	0	0	0.01	0.26	0.29	0.29	0.29	0.29
19	0	0	0	0.21	0.25	0.25	0.25	0.25
22	0	0	0	0.07	0.11	0.11	0.11	0.11
24	0	0	0	0	0.03	0.03	0.03	0.03
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0

此处刚刚熔融完毕, 故此长度为最佳长度。1 组 ~ 3 组对应的螺杆轴向长度约为 18 mm, 即表示固体颗粒在压缩段中间位置已经全部熔融, 这容易引起易分解物料过早熔融, 导致物料温度过高甚至发生分解, 影响最终制品的质量, 因此第 4 组、第 8 组实验所得数据相对其它组数据更加合理。

(3) 螺杆剪切速率分析

数值模拟得到的各组实验的螺杆剪切速率分布数据如表 8 所示。由表 8 可知, 1 组 ~ 3 组加料段对应的剪切速率较高且波动较大, 4 组 ~ 8 组的剪切速率较低且波动值较小, 剪切速率直接影响到物料的熔融, 在螺杆设计准则中波动越小, 螺杆性能越稳定, 所以螺杆剪切速率数据中 4 组 ~ 8 组相对其它组更加合理。

(4) 机筒剪切速率分析

数值模拟得到的各组实验的机筒剪切速率分布数据如表 9 所示。由表 9 可知, 1 组 ~ 3 组的起始剪切速率较高且波动较大, 4 组 ~ 8 组的起始剪切速率较低且波动较小。根据机筒设计准则, 剪切速率波

表 8 螺杆剪切速率分布数据

螺杆轴向长度/mm	螺杆剪切速率/s ⁻¹							
	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组	7 组	8 组
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	657.1	652.2	647.1	510.8	512.1	512.1	512.1	512.1
6	534.0	527.2	512.6	397.7	392.8	392.8	392.8	392.8
7	672.2	662.89	644.2	509.01	493.17	493.17	493.17	493.17
12	578.9	565.2	551.9	474.0	455.6	455.6	455.6	455.6
15	565.6	550.9	542.4	494.5	477.8	477.8	477.8	477.8
16	629.6	548.2	609.0	567.4	544.7	544.7	544.7	544.7
20	579.4	536.8	566.1	566.4	563.5	563.5	563.5	563.5
21	583.3	535.2	559.5	565.6	565.7	565.7	565.7	565.7
22	579.8	535.1	554.6	559.7	565.1	565.1	565.1	565.1
23	576.0	538.3	553.8	556.0	558.7	558.7	558.7	558.7
24	642.9	545.8	560.1	568.4	556.8	556.8	556.8	556.8
28	587.2	597.7	577.6	579.3	588.9	588.9	588.9	588.9
31	582.8	588.3	572.1	572.7	580.1	580.1	580.1	580.1
32		581.2	567.9	567.7	573.4	573.4	573.4	573.4
32		572.2	562.6	561.3	564.2	564.2	564.2	564.2
35					561.6	561.6	561.6	561.6

表 9 机筒剪切速率分布数据

螺杆轴向长度/mm	机筒剪切速率/s ⁻¹							
	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组	7 组	8 组
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	57.8	58.3	58.5	46.2	46.3	46.3	46.3	46.3
10	90.4	85.1	72.9	46.1	45.3	45.3	45.3	45.3
15	144.5	116.8	101.3	56.3	51.5	51.5	51.5	51.5
20	399.7	220.7	217.0	125.4	99.7	99.7	99.7	99.7
22	516.5	319.9	321.6	228.9	170.3	170.3	170.3	170.3
24	502.5	503.3	533.0	561.2	391.6	391.6	391.6	391.6
25	560.4	506.5	534.8	564.3	564.9	564.9	564.9	564.9
30	510.6	546.3	542.1	555.3	565.1	565.1	565.1	565.1
31	506.7	537.4	536.8	548.8	556.2	556.2	556.2	556.2
32		530.7	532.7	543.8	549.4	549.4	549.4	549.4
34		522.3	527.6	537.6	540.4	540.4	540.4	540.4
35					537.9	537.9	537.9	537.9

动越小,机筒性能越稳定,因此各组螺杆剪切速率数据中4组~8组相对其它组更加合理。

(5) 熔体温度偏差和塑化时间分析

数值模拟得到的各组实验的熔体温度偏差和塑化时间见表 10。

表 10 模拟结果比较

组数	终结温度/℃	温度偏差/℃	塑化时间/s
1	229.00	7.45	4.97
2	232.17	10.26	4.87
3	232.15	10.23	4.85
4	231.93	9.86	4.65
5	232.13	10.19	4.83
6	231.90	9.81	4.78
7	232.11	10.14	4.82
8	231.90	9.81	4.78

由表 10 可以看出,第 4 组、6 组、8 组温度偏差较小,所用塑化时间也较短。温度偏差小则塑化熔体均匀性更好,最终所获得的制品性能也更加优良,适用于精密注塑。

综合以上分析,最终得出第 4 组螺杆最适合物料在微注射成型机塑化系统内的塑化。

3 结论

借鉴传统注射成型技术,在初步设定符合微注射成型机特点的螺杆结构参数的基础上,合理确定了塑化系统的几何模型结构,利用 Injection Molding Plastification 聚合物成型分析软件对微注射成型机中的物料塑化过程进行了数值模拟,分析熔体温度、螺杆剪切速率、机筒剪切速率和固体剩余量的分布,得出微注射成型机螺杆结构的最优参数值,为以后的研究提供了数据参考。

参考文献

[1] Kukla C, Loibl H, Dettler H, et al. Micro-injection molding-the aims of a project partnership[J]. Kunststoffe Plast Europe 1998, 88(9) : 6 - 7.

[2] Michaeli W, Spennemann A, Gartner R. New plastification concepts for micro-injection molding[J]. Microsystem Technologies, 2002, 8(1) : 55 - 57.

[3] Piotter V, Hanemann T, Ruprecht R, et al. Injection molding and related techniques for fabrication of microstructures[J]. Microsystem Technologies, 1997, 3(3) : 129 - 133.

[4] Eberle H. Micro-injection moulding mould technology[J]. Kunststoffe Plast Europe, 1998, 88.

[5] Despa M S, Kelly K W, Collier J R. Injection molding of polymeric LIGA HARMs[J]. Microsystem Technologies, 1999, 6(2) : 60 - 66.

[6] Yu L Y, Koh C G, Lee L J, et al. Experimental investigation and numerical simulation of injection molding with micro-features[J]. Polymer Engineering and Science, 2002, 42(5) : 871 - 888.

[7] Shen Y K, Wu W Y. An analysis of the three-dimensional micro-injection molding[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2002, 29(3) : 423 - 431.

[8] Azeredo M B V, Pita V R R. Understanding the effect of processing parameters on themold temperature[C]. ANTEC, 2003: 564 - 569.

[9] Su Y C, Shah J, Lin L W. Implementation and analysis of polymeric microstructure replicationby injection molding[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2004(14) : 415 - 422.

[10] Zhao J H, Mayes R, Chen G E. Micro injection moulding process technology development[R]. SIM Tech Technical Report(PT/02/004/APP) .

[11] 张友根. 注射塑化系统设计研究[J]. 机械与模具, 2006, 9: 35 - 41.

[12] 陈晋南,王鸳鸯,彭炯.注射螺杆流动熔体非等温流场的数值研究[J].北京理工大学学报,2007,27(8):723-727.

[13] 任峰,杨于光,林丕.螺杆参数对注射成型机塑化单产能耗影响的实验研究[J].橡塑技术与装备,2008,34(10):7-15.

[14] 方子帆,许颖.注塑螺杆熔体输送过程的工艺参数分析[J].轻工机械,2007,25(6):12-15.

THE PARAMETER OPTIMIZATION DESIGN FOR MICRO-INJECTION
MOLDING MACHINE SCREW

Zhuang Jian, Wu Daming, Zhang Yajun, Zhou Yang, Bai Jian

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT Referring to ordinary injection molding technology, the optimization design of the micro-injection molding injection screw was made. The three-stage screw was selected. According to the experiences and referring materials, the screw parameters which is optimized by the mathematical model is determined. By using the optimized screw structure parameters and injection molding plastifi-cation software, the process of plastic was simulated, and the melt temperature, shear rate and solid residual volume were analysed. Fi-nally, the optimal parameters of the screw were obtained.

KEYWORDS micro-injection molding machine, screw structure parameter, plasticizing simulation, optimization design

河南省塑料管材制品质量监督检验
中心进入筹备阶段

近日,河南省淮阳县获批筹建河南省塑料管材、薄膜制品质量监督检验中心,标志着该县省级塑料管材、薄膜制品质量监督检验中心将进入正式筹备阶段,塑料管材、薄膜制品的筹备工作将全面启动。

近年来,淮阳县塑料管材、薄膜制品得到了迅速发展在全省处在领先地位。为了进一步推动区域优势产业发展,该县从去年就已经积极开展省级塑料管材、薄膜制品质量监督检验中心的申报、论证和筹备,随着文件的批复,项目筹建工作从本月开始将正式全面启动。

淮阳县将会尽最大努力,把河南省管材、薄膜制品质量监督检验中心建设好,为周口乃至全省塑料产业的发展做出应有的贡献。

(塑料管材)

拜耳材料科技延伸可持续建筑合作网络

蒂森克虏伯钢铁欧洲股份公司参与了拜耳材料科技的生态商务建筑计划。蒂森克虏伯钢铁欧洲的加盟,进一步推动了拜耳材料科技与钢铁公司的密切合作,致力于运用多功能三明治板,实施高效隔热。这些板是由两块金属层和中间的硬泡芯组成。蒂森克虏伯钢铁欧洲为商业联盟带来了它在三明治板方面的领先技术,满足仓库、冷库、办公楼及其它工业结构的保温需求。由拜耳材料科技研发生产的聚氨酯原材料形成了硬泡芯的优异的隔热性能。

蒂森克虏伯钢铁欧洲公司为客户量身定制以钢材包夹聚氨酯硬泡的面板,适用于墙体、外立面、天花板和屋顶。除承重功能外,该夹层构件还满足可持续设计和人性化设计的严格需求,比如优良的隔热、隔音、防火性能和最佳空间利用。此外,创新的产品如蒂森克虏伯钢铁欧洲的立面系统 HoeschMatrix,可以应用在对建筑要求很高的立面结构中。由于安装相对简易,该建筑解决方案的成本也较低。

(中化网)

尼龙 66 环保面料 纺织服企低碳新招

在第六届上海国际内衣时尚展上,青岛岩本绣品推出了 N66(即尼龙 66)环保型面料。该公司总经理邵建设介绍,这种面料是完全结合绿色环保理念而设计的,是一种可降解、可溶解的面料,在生产过程中,亦可减少二氧化碳的排放量。虽然采用这种面料制成的内衣并无特殊的效果,但会更加健康和舒适。

荷兰聚酯纤维厂家 Advansa 生产出 Biophyl 生态环保织 物,该公司的市场经理 LucianoColasanto 介绍,Biophyl 产品由聚对苯二甲酸丙二酯(PTT)制成,可降低对石油化工资源的需求,二氧化碳排放也可降低 63%,而且 Biophyl 特别适合于针织和经编泳衣和内衣,该公司将继续调整染色、整理过程,力求进一步降低温室效应,同时确保节能高达 30%。

石狮一些布料企业使出了“开发其他植物纤维面料”、 “涉足再生纤维面料研发生产”和“采用优质的棉替代品”等三招。早在 2010 年 5 月,石狮的三元、东鹏布业公司已经开始涉足大麻纤维面料的开发。大麻、大豆秸秆等农作物废弃物提取制成的纤维不仅绿色环保,而且织成面料后柔软舒适,可较好地替代棉花,这些环保型面料在一定程度上缓解了棉价飙升所带来的成本压力。

(中国橡胶化工网)

朗盛在印度建热塑性树脂新厂

朗盛集团正在继续扩建其在印度古吉拉特邦 Jhagadia 的生产厂,现已开始动工建设一座初始年产能 为 2 万 t 的复合工厂。新厂将从 2012 年初开始生产热塑性树脂 Durethan(聚酰胺)和 Pocan(聚对苯二甲酸丁二醇酯)。工厂投资额超过 1000 万欧元,将有员工 60 人。

朗盛集团表示,Jhagadia 新厂进一步加强朗盛在亚洲地区供应商的地位。印度正在成为继美国和中国之后世界第三大高科技塑料消费市场,当地蓬勃发展的汽车产业预计年增速将超过 6%。跨国汽车制造商及其供应商正在积极开拓印度市场或在这里投资新建工厂。

(汽车新材料网)