

汽车用 POM 油泵支架法兰注塑工艺研究

李江波 杨青芳

(西北工业大学理学院,西安 710072)

摘要 通过 Moldflow 分析法兰成型填充特点,采用 DOE 方法设计注塑工艺参数,通过分析试验数据,研究注塑工艺参数对法兰质量的影响。结果表明,保压时间是聚甲醛(POM)油泵支架法兰注塑工艺中最重要的影响因素,对提高注塑工艺水平具有指导意义,同时可缩短产品的开发周期、降低后续的调机费用,为企业带来显著经济效益。

关键词 油泵支架法兰 聚甲醛 注塑工艺 Moldflow 保压切换点 Minitab DOE

汽车用油泵支架的作用是将油箱中的燃油供给汽车发动机,油泵支架法兰主要用于将油泵支架装配并固定到油箱上,法兰通常包括法兰本体、回油管接口、出油管接口和电器接口,回油管接口、出油管接口以及电器接口分别穿越各自的连接孔而固定在法兰本体上,并且,各自的两端分别伸出在法兰本体的上下两面^[1]。

油泵支架法兰在使用过程中需要承受油箱内燃油蒸汽的侵蚀,承受 $19.6 \sim 29.4 \text{ m/s}^2$ 的振动冲击、 $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ 的温度冲击和最高 300 kPa 的油箱内部压力。目前国内市场使用的汽车燃油主要为汽油,油品品质存在较大差异,溶剂性能也存在差异。根据地域不同,汽油中添加不同添加剂,如东北地区添加质量分数约 10% 的乙醇,山西、河北地区添加一定比例的甲醇,而南方地区的油品硫含量普遍较高。在这些工况条件下,油泵法兰必须具备良好的耐油性、耐高低温性、耐疲劳性和耐冲击性,尺寸稳定性和介电性能好。

聚甲醛(POM)具有良好的耐疲劳性和冲击强度,耐蠕变性、耐磨性能好,尺寸稳定,介电性能好,耐水和溶剂等性能,且价格比其它工程塑料便宜。被广泛地用来替代部分有色金属和合金钢,用于制造齿轮、轴承等耐磨件、机械壳体、化工阀门、容器、汽车零部件等^[2]。目前世界上的主流油泵支架厂家均选择使用 POM 作为油泵支架法兰的原料。

笔者利用 Moldflow 进行注塑模流分析,运用 Minitab DOE 试验设计工具设计试验方案,通过法兰可靠性试验、关键尺寸、生产过程能力指数来判断注塑工艺的有效性,确定最佳工艺参数。对研究 POM 油泵支架法兰的注塑工艺具有一定的价值和实际指导意义。

1 POM 特性

POM 按其分子链化学结构的不同,可分为均聚

和共聚两大类。共聚 POM 成型特点为结晶度高、体积收缩率大、凝固速度快、吸水率低、熔体粘度对剪切应力的依赖性较大、加工热稳定性差^[3]。POM 材料的结晶温度为 170°C 左右,注射温度为 200°C ,可注射成型温度范围为 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 。注塑工艺要求苛刻,制件内部易存在较大的残余应力,形变严重^[4]。

目前市场上供应的可应用于油泵支架法兰的 POM 较多,通常情况下使用 M90 级共聚 POM,主要供货厂商和牌号对应的材料特性如表 1 所示。笔者选用宝理 M90 作为研究材料。

表 1 常用 POM 材料的性能对比

项目	宝理	巴斯夫	泰科纳	韩国工程	旭化成
	Duracon M90	Ultraform S2320 - 003	Hostafom C 9021	Kepital F20 - 03	Tenac C4520
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.38 ~ 1.42	1.38 ~ 1.42	1.38 ~ 1.43	1.38 ~ 1.43	1.38 ~ 1.43
熔体体积流 动速率/ $\text{cm}^3 \cdot (\text{10 min})^{-1}$	7 ~10	9.5 ~ 12.5	7.3 ~9.7	7 ~9	7.5 ~ 11.5
拉伸强度/MPa	62	62	60	58	56
拉伸弹性模量/ MPa	2 700	2 500	2 200	2 400	1 800
弯曲强度/MPa	87	130	90	90	68
缺口冲击强度/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	6	4	5	4	5

2 油泵支架法兰结构分析与 Moldflow 模流分析

笔者以某轿车油泵支架法兰为例进行分析,其外形尺寸如图 1 所示。

2.1 法兰结构分析

法兰属于典型的金属嵌件注塑,嵌件数量达到 10 个,且尺寸精度要求很高,公差高于注塑零件的一般公差等级 GB/T 14486 2002 - MT6 级,达到 MT3 级标准,尺寸要求达到精密等级。具体如图 1 所示。

法兰的关键尺寸:衬套节圆直径为 (90 ± 0.3)

mm, 衬套间隙尺寸为 0.1 mm, 平面度 0.8, 衬套间角度 $6 \times (60 \pm 0.5)^\circ$, 法兰插针处密封性, 法兰厚度为 (4 ± 0.3) mm。

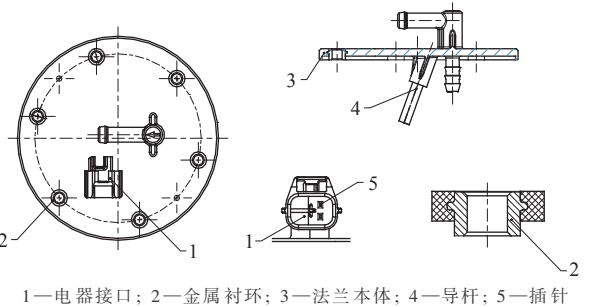


图1 法兰外形结构

法兰结构对注塑过程的影响分析: ①10 个金属嵌件放入模具时, 使模具长时间处于开模状态, 造成模具温度下降, 注塑过程中模具温度波动很大; ②注塑节拍不稳定, 容易造成注塑工艺不稳定, 从而影响尺寸精度, 质量变差; ③金属嵌件与塑料的结合部位容易存在应力集中, 造成微裂纹, 对法兰的密封性造成一定的影响。

2.2 Moldflow 模流分析

笔者使用 Moldflow MPI 6.1 进行法兰模流分析, 选择最佳浇口位置, 分析填充时间、体积收缩率、翘曲量等影响因素, 为选择注塑工艺奠定基础。针对此法兰结构特点, 进行 Moldflow 模流分析时, 为保证熔体填充均匀及嵌件部位的包紧力, 需要先填充插针部位, 缩短整个法兰的填充时间。

图 2、图 3 分别为体积收缩率和翘曲量分析。从图 2、图 3 可以看出, 法兰本体平面部位、金属衬套部位、电器接口部位的各自收缩和翘曲比较均匀。结合法兰结构分析和 Moldflow 其它因子的模流分析结果, 该法兰的注塑工艺易采取较高模具温度、较高

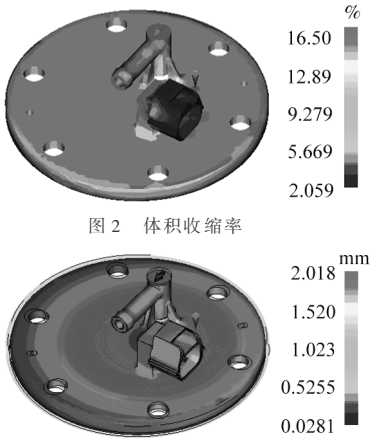


图2 体积收缩率

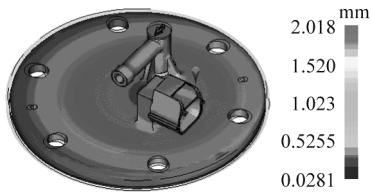


图3 翘曲量分析

的注塑压力。通过 Moldflow 分析, 对比侧浇口、中心点浇口的填充时间、体积收缩率、翘曲量, 最佳浇口宜选在法兰盘上部靠近插头部位, 如图 4 所示。

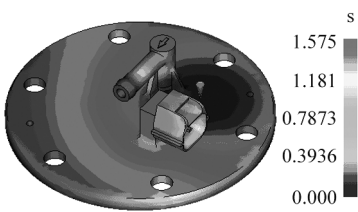


图4 最佳浇口位置

3 DOE 试验设计和工艺验证

注塑过程中, 注射温度、料垫厚度、初始浇注位置、保压转换(V/P) 点的合理设置对注塑过程有显著影响^[5]。因此在进行 DOE 试验设计前, 应先确定以上参数值。

3.1 注塑机及原材料

注塑机: HTF 250T/J5 型, 宁波海天塑机集团有限公司;

POM: Polyplastics POM M90 - 44, (宝理公司推荐使用的熔融料的注射温度为 200℃, 注射温度不宜过高, 不超过 210℃), 日本宝理株式会社。

3.2 储料量计算

法兰料头 15.5 g, 法兰去金属件质量 70 g, 单次注射总质量为 85.5 g;

螺杆直径 55 mm, 计算得储料量约 74 cm³, 注射行程约 33 mm。根据经验, 250 t 注塑机选择料垫厚度 10 ~ 15 mm, 料垫薄易造成螺杆损伤, 过厚易造成计量不准; 螺杆回退吸料 5 mm, 选择储料位置在 55 ~ 60 mm。为了安全, 选择初始注射位置为 60 mm。

3.3 浇注位置

为确保插针在注射时不被料流冲弯, 浇注采取 2 段注射, 第 1 段宜选取低速注射, 使插针恰好被熔融料包住, 该位置为 1 段注射终止位置。2 段注射采取快速注射, 确保法兰快速填充。常用方法为 1 段浇注行程每次增加 1 mm, 观察塑料是否包覆住插针。注射终止位置见图 5。根据图 5 确定 1 段注射终止位置为 30 mm。

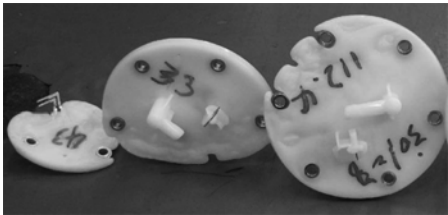


图5 1段注射终止位置

3.4 V/P 点

设置保压压力为 0, 将转保压点每次减少 1 mm, 对注射后制品称重, 直至质量稳定, 当前者质量是后者质量的 98% ~ 99% 时, 将该点设置为转保压点。不同 V/P 点对应质量如表 2 所示。计算得 V/P 点为 25 mm 时, 满足要求。当 V/P 点转换过早时, 填充不饱满, 易出现保压后注塑件收缩, 填充不足; 转换过晚则造成浇口封死, 法兰保压无法进行, 使法兰内部存在较大的残余应力。

表 2 V/P 点对应质量

(V/P) / mm	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
质量 / g	47	52.6	55.4	58.6	60.4	61.4	61.6	61.6	61.8	61.9

3.5 DOE 试验设计

根据 POM 材料的成型特点、法兰结构特点、Moldflow 模拟结果结合工程经验, 使用 Minitab DOE 部分因子试验设计功能。通常选择法兰直径方向的主要尺寸、平面度、质量和可靠性(法兰是否泄漏) 作为评价 DOE 方案优劣的验证标准。该法兰选择 6 因素、2 水平试验设计, 工艺参数如表 3 所示。试验方案见图 6。

表 3 工艺参数

项目	数据	项目	数据
注塑压力 / MPa	95 ~ 105	模具温度 / ℃	70 ~ 90
注射速率 / mm · s ⁻¹	8 ~ 16	保压压力 / MPa	85 ~ 95
保压时间 / s	16 ~ 32	冷却时间 / s	23 ~ 25

试验序号	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6	因子 7	因子 8	因子 9	因子 10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
4	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
5	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1
6	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2
7	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
8	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
11	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
12	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
13	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1
14	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2
15	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
16	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

图 6 Minitab 部分因子试验设计方案

根据设计的试验方案设定的注塑参数进行试验, 收集数据, 填入 Minitab 中, 试验结果见图 7。图

因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6	因子 7	因子 8	因子 9	因子 10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	1	2	1	2	1	2	1
4	2	1	2	1	2	1	2	1	2
5	1	1	2	1	2	1	2	1	2
6	2	2	1	2	1	2	1	2	1
7	1	2	1	2	1	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	1	2	1	2
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2
11	1	2	1	2	1	2	1	2	1
12	2	1	2	1	2	1	2	1	2
13	1	1	2	1	2	1	2	1	2
14	2	2	1	2	1	2	1	2	1
15	1	2	1	2	1	2	1	2	1
16	2	1	2	1	2	1	2	1	2
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	2	2	2	2	2	2	2	2	2

图 7 试验数据收集

8 ~ 图 10 分别为质量主效应图、节圆直径主效应图和平面度主效应图。

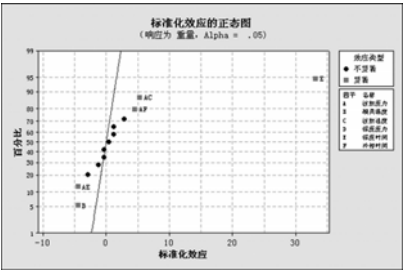


图 8 质量主效应图

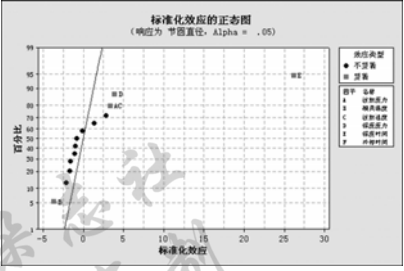


图 9 节圆直径主效应图

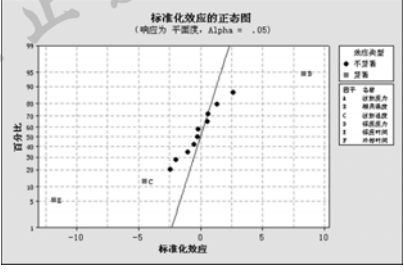


图 10 平面度主效应图

由图 8 ~ 图 10 可知, ①法兰质量大, 不泄漏; 法兰质量小, 泄漏; 法兰是否泄漏与其质量密切相关; ②针对法兰质量, 保压时间为主要显著因子, 保压时间越长, 质量越大; ③针对节圆直径, 保压时间为显著因子, 保压时间越长, 节圆直径越好; ④针对平面度, 模具温度、保压时间为显著因子, 模具温度高, 平面度小, 保压时间越长, 平面度越大, 可以解释为法兰内残余应力大, 应力释放后法兰翘曲; ⑤对于带嵌件的 POM 法兰, 较高的模具温度可以获得较好的平面度和外观质量, 因为手工放置金属嵌件过程不稳定, 模具温度易波动, 实际生产过程需要接入模具温度机和模具温度报警系统来控制模具温度。

3.6 最优工艺

DOE 试验后确定的最优工艺参数如表 4 所示。根据 DOE 试验后设置实际注塑工艺参数, 解决了该法兰自开发以来长期未解决的尺寸精度不足、插针泄漏等问题, 通过了法兰可靠性试验, 过程能力得到

0—无泄漏; 1—有泄漏气泡, 但不游离; 2—有游离泄漏气泡

显著提高,节圆直径、平面度的过程能力指数(Cpk)均达到 2.0 以上。

表 4 最优工艺参数

项目	数据	项目	数据
注塑压力(1 段) /MPa	95 ~ 105	注塑压力(2 段) /MPa	90 ~ 100
注射速率 /mm · s ⁻¹	10 ~ 14	注射时间 /s	4
注射位移 /mm	60 /30 /25	保压压力 /MPa	85 ~95
保压时间 /s	24 ~ 32	(V/P) 点 /mm	24
模具温度 /℃	80 ~ 90	冷却时间 /s	23 ~ 27
料垫位置	11		

4 结语

通过 Moldflow MPI 6.1 对 POM 油泵支架法兰进行模拟分析,直观地得到和预测不同浇口位置对制件质量的影响。在 Moldflow 分析的基础上,使用 Minitab 进行 DOE 试验设计和分析,获得最优的工艺参数以及良好的过程能力。

保压时间是 POM 油泵支架法兰注塑工艺参数中最重要的参数之一。通过对 DOE 试验数据分析得出,对于 POM 法兰制品,保压时间根据每毫米平

均壁厚设置为 6 ~ 8 s,可以获得良好的制品质量。对于带嵌件的 POM 法兰制品,较高的模具温度可以获得较好的平面度和外观质量。

通过对汽车用油泵支架法兰注塑工艺的研究,得到 POM 制品的注塑工艺参数的主要影响因子,建立 POM 制品注射成型工艺系统,对提高注塑工艺能力具有指导意义,同时可缩短制品的开发周期和降低后续的调机费用,为企业带来显著经济效益。

参 考 文 献

[1] 杜桂菊,屈晨竹,黄监. 油泵法兰: 中国,03210794[P]. 2004-11-03.

[2] 孙绍修. 塑料实用手册[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 1999: 82.

[3] 张甲敏, 王建华. POM 塑料典型制品注塑工艺探讨[J]. 塑料工业, 2007, 35(4): 33 ~ 34.

[4] 王兴天. 注塑成型技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 355.

[5] Aburg. PTS-Plastic Technology and Machine Setting[M]. Lossburg: Aburg GmbH Handbook, 2010: 193 ~ 229.

STUDY ON INJECTION MOLDING PROCESS OF POM VEHICLE FUEL PUMP FLANGE

Li Jiangbo, Yang Qingfang

(School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT The effect of injection molding process parameters on flange quality characteristics was studied through the flange filling analysis by Moldflow and the injection molding process experiment by DOE methods. The results showed that pressure holding time was the most important parameter which influenced the molding process of POM fuel pump flange. Meanwhile, it provided the important instruction for improving the injection process ability. It reduced the cost and period of new product development and had remarkable economic efficiency.

KEYWORDS fuel pump flange, POM, injection molding process, Moldflow, V/P switch point, Minitab, DOE

Asiamold——广州国际模具应用与设计及制造
技术展览会圆满成功

2010 年 9 月 15 至 17 日在广州保利世贸博览馆举行的第四届 Asiamold 圆满结束,吸引了超过 12500 名来自中国、香港特区、中国台湾省、美国、德国、马来西亚、泰国、新加坡、日本及韩国等 42 个国家及地区的观众莅临参观,较 2009 年增长 20%。展会共有 310 家来自 15 个国家及地区的参展商,较上届增加了 10%,云集两个展馆,展会面积达 2 万 m²。好景塑胶制品有限公司、胜百钢材有限公司、马斯特模具(昆山)有限公司精森源模具(深圳)有限公司、德国的 GC - heat Gebhard & Castiglia GmbH & Co KG 等参展商一致认为此展览会 是 召 商 洽 谈 的 平 台,使 他 们 与 客 户 建 立 新 联 系,与 现 有 客 户 互 通 近 况 等。展 会 期 间 举 办 了 多 场 研 讨 会,探 讨 模 具 技 术 及 发 展,亦 受 到 观 众 欢 迎。

(孙)

普立万推出光纤无卤阻燃方案

普立万公司日前在上海举办的第四届中国国际线缆展

上,展出了用于光纤产品的一系列创新线缆解决方案。产品包括低烟低毒无卤混合物、着色母料和功能母料等。这些高性能材料专为通信领域中应用的各种光纤开发。

过去,光纤电缆主要用于室外,因此并不需要阻燃护套材料,然而现在越来越多的宽带供应商将光纤接入办公室或家庭,电缆不仅需要阻燃性,还必须使用低烟、低毒无卤材料。普立万的最新系列产品除了具有出色的阻燃性和低烟、低毒优点外,还具有耐腐蚀、极低收缩(小于 1%)及良好的力学强度等优点。

(中化)

科威特酝酿建设 PTA 和 PET 项目

科威特芳烃公司正在研究一项新的投资计划,针对其位于科威特舒艾巴的对二甲苯装置开发下游项目,生产精对苯二甲酸(PTA)和聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)。科威特芳烃公司下游项目将使用科威特对二甲苯生产公司(KPPC)的产品为原料。KPPC 芳烃联合装置去年建成,投资约为 20 亿美元,设计生产 82.9 万 t/a 对二甲苯和 39.3 万 t/a 纯苯。

(中国化工报)