

塑料齿轮成型品质改进

郭紫贵 左大平 胡细东

(张家界航空工业职业技术学院, 张家界 427000)

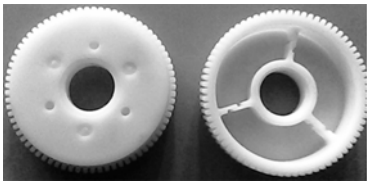
摘要 对微电机用塑料圆柱齿轮产生翘曲变形的原因进行分析, 通过优化注射工艺条件、浇口位置和冷却系统等方法, 在保证其它控制尺寸不变的情况下, 使塑料圆柱齿轮的底面跳动值满足了技术要求, 成功降低了塑料齿轮底面的跳动。

关键词 成型质量 注射模具 圆柱齿轮 跳动 翘曲变形

家用轿车“安全、节能、舒适”的发展方向, 对汽车零部件的品质提出了更高的要求。以微电机为例, 整车厂不断要求降低微电机噪音, 微电机供应商只有通过变更电机及零部件的设计精度, 进而提高相关塑料制品的品质来满足整车厂的要求。

微电机的噪音有很大一部分来自于齿轮噪音。齿轮(见图1)底面与齿轮盒支撑筋之间的摩擦是齿轮噪音的主要来源。所以, 要降低电机的齿轮噪音, 就必须提高齿轮和齿轮盒接触面的成型精度。

图1所示的塑料齿轮在设计变更前已投入批量生产。设计图纸变更后, 客户要求对现有模具进行评估, 分析现有模具生产变更后制品的可行性。通过对比制品设计变更前后的图纸发现, 微电机生产商对制品底面成型精度提出了更高的要求, 不仅将底面跳动定义为控制尺寸, 而且还将最大允许误差从原来的0.15 mm调整至0.10 mm。根据已有的生产经验, 生产变更后制品的最大难度在于底面跳动的控制。



(a) (b)
a—底面向上; b—底面向下

图1 塑料齿轮

1 制品设计变更前的数据分析

1.1 样件的数据测量

制品变更前模具的布局为1模4腔。从每腔成型的制品中抽取5件样件进行全尺寸检测。检测结果表明, 所有的控制尺寸均能满足微电机生产商的设计要求; 但包括底面跳动在内的部分非控制尺寸超差。在递交初期样品检查报告(ISIR) 时, 这些超差的非控制尺寸得以放行。4个模腔共20件样件

底面跳动的最大值为0.160 mm, 最小值为0.142 mm。最大跳动值比设计变更前的要求大0.01 mm, 比设计变更后的要求大0.06 mm。

1.2 样件的加工工艺条件

根据微电机生产商的定义, 塑料齿轮的成型材料为美国 DuPont Engineering Polymers 公司生产的牌号为 BN2101 - O - 0Anf01DU 的聚甲醛(POM) 。成型设备选用 Sumitom 注塑机, 最大锁模力为130 t。材料于(80 ±10) °C下预热干燥8 h。主要成型工艺参数见表1。

表1 制品实际注射成型工艺参数

项目		数值
料筒温度/℃	后段	175 ±10
	中段	180 ±10
	前段	185 ±10
熔体温度/℃		230 ±10
模温/℃		70 ±10
注塑压力/MPa		70 ±10
保压压力/MPa		60 ±10
成型周期/s		55 ±5

1.3 样件注射成型数值化模型的建立

虽然注射模的型腔布局为1模4腔, 但各模腔中成型样件的检测结果之间并没有太大的差异。基于这一点, 在构造制品数值化模型时, 为了减少建模工作量和模拟运算量, 只需选取1个模腔作为分析对象即可。为了使模拟结果与测量结果之间具有可比性, 应尽量使数值化模型中的浇注系统和冷却系统的位置及尺寸与注射模具的实际情况保持一致。

建立数值化模型时省略制品一些细小特征, 如倒角、工艺孔等, 最终模型如图2所示。图中制品倒置, 底面向上。

1.4 数值化结果与实测结果的对比

塑料制品在注射成型过程中的变形既有收缩变

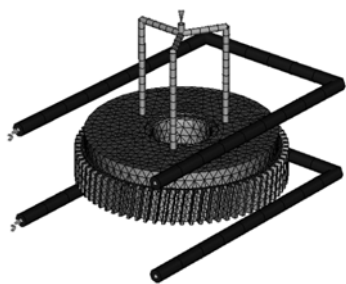


图2 根据实际条件建立的数字化模型

形,也有翘曲变形。在 Moldflow 软件提供的众多变形结果中,制品沿竖直方向(z 轴方向)的翘曲变形量能够直接反映制品的底面跳动。

在制品模型底面上任意选取一定数量的节点,测量各点之间的相对翘曲变形量,模拟所得的最大值为 0.108 mm ,而实测值为 0.160 mm ,二者之间存在 32.5% 的误差。尽管模拟结果与实测结果之间存在着较大的误差,但 Moldflow 软件对塑料制品变形特点及变形方向的预测还是非常准确的。因此, Moldflow 的模拟计算结果对塑料制品注射模具的设计与制造和成型工艺过程都具有重要的指导意义。

2 制品成型质量的优化分析

2.1 制品跳动过大的原因分析

制品底面跳动的产生主要是由于成型过程中制品底面发生了翘曲变形。造成塑料制品翘曲变形过大的原因有 3 方面:收缩不均匀、取向不均匀和冷却不均匀^[1]。降低塑料制品翘曲变形的途径包括更改制品的设计(如增加制品厚度)、优化成型工艺条件、优化模具结构等^[2]。本塑料齿轮的设计由电机供应商确定,不可更改。

2.2 成型工艺条件的优化

对于一些常用的塑料成型材料, Moldflow 软件均介绍了主要的成型特性,并提供了部分注射工艺参数的推荐值。关于制品选用的成型材料, Moldflow 提供的相关信息与材料供应商(DuPont Engineering Polymers 公司)提供的信息一致。根据这些信息,将表 1 中的熔体温度由 $(230 \pm 10)^\circ\text{C}$ 修正为 $(215 \pm 10)^\circ\text{C}$,模具温度由 $(70 \pm 10)^\circ\text{C}$ 修正为 $(90 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。

塑料制品的翘曲变形与保压时间、保压方式及保压压力也有关系。在模具型腔内冷却的过程中塑料熔体的体积会收缩,需要得到及时补充。保压的目的就是为了及时向型腔内补充塑料熔体,以免在制品表面产生凹陷或内部产生空洞。

为降低制品的翘曲变形,常用多段曲线保压来替代直线(恒定压力)保压。制品变更前的保压方式为直线保压,保压压力为最大注塑压力的 80% ,保压时间为 16 s ,保压时间从压力切换开始,到浇口冷却凝固结束。根据 Moldflow 软件的计算结果,压力切换时间为 3.8 s ,浇口凝固时间为 19.2 s ,保压时间为 15.4 s ,与前面所述的保压时间 16 s 接近,故不作调整,保压时间仍设定为 16 s 。优化前后的保压曲线如图 3 所示。

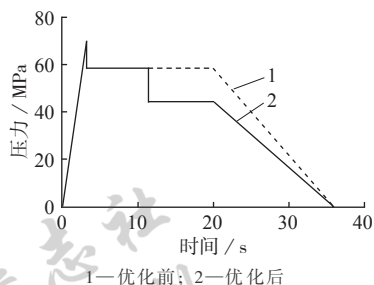


图3 优化前后的保压曲线

注射工艺条件优化之后,重新进行有限元模拟分析,制品底端 z 轴方向的最大翘曲变形量降至 0.098 mm ,下降幅度仅为 0.010 mm ,考虑到 Moldflow 软件模拟计算的结果与实际结果之间的误差, 0.010 mm 的降幅并不能保证制品设计变更后的要求,所以还需要寻找其它方法来降低制品底面的翘曲变形量。

2.3 浇口位置的确定

塑料熔体从粘流态冷却至常温玻璃态的过程中会发生物理变化。其中塑料分子的取向就是一种主要的物理变化。取向是指塑料大分子的微晶粒子在应力作用下形成的有序排列结构。取向结构分为拉伸取向和流动取向两种类型。注射成型过程中,塑料熔体内部微晶粒主要发生流动取向。由于取向结构的存在,导致塑料熔体在冷却过程中沿不同方向表现出不同的物理特性,使制品在成型过程中形成了沿不同方向不均匀的收缩,进而导致底面发生翘曲变形^[3]。

流动取向主要受制品形状和浇口位置的影响。制品呈圆盘状,浇口的最佳位置应位于圆盘中央,但由于制品中间有 17 mm 的轴安装孔,所以浇口只能均匀分布在圆孔与轮齿的中间。Moldflow 的计算结果显示,浇口到制品中心的距离发生改变,制品底端的翘曲变形也会发生变化,同时还会牵涉到制品齿形和中间轴安装孔的精度。所以综合各种因素,最终将 3 个浇口确定在 30 mm 的圆上,位于制品 3

根筋的投影区域。

2.4 冷却系统的优化

模具温度也是影响制品成型质量的一个重要因素。模具温度除了受冷却液的类型、出入口冷却液的温差等因素影响之外,还与冷却水道的分布有着密切的联系。为了使模温均匀,制品的成型精度要求较高时,冷却水道的形状应尽量与制品的形状保持一致。

因该制品呈圆盘状,故将冷却水道也设计成环形。将原模型中的定模和动模两侧的直水道均换成环形水道后进行模拟计算,发现制品底面最大翘曲变形量为 0.076 mm,降幅为 0.022 mm。考虑 Moldflow 软件模拟计算的误差,此结果虽然已经接近但仍不能保证制品设计变更后的跳动要求。

分析制品模型底端节点收缩变形后的坐标位置时发现,周边节点的 z 坐标值小于中间节点的 z 坐标值,制品底面呈内高外低的球冠形。同时,制品中间轴孔的尺寸也有一定的波动,出现这种情况的主要原因是制品底面冷却不均匀。从制品冷却凝固时间来看,周边节点要比中间节点早 4 s 左右。如果使制品中部凝固时间提前,前述问题就都有可能得到解决。



图 4 冷却系统的改进模型

在动模型芯中开设喷射式水路和采用间接冷却法都可以增加制品中部的冷却效果。间接冷却法是指用传热良好的铍铜制作型芯,然后利用喷水管冷

却型芯尾端,通过铍铜的高热导率向冷却介质散发塑料熔体传给型芯的热量^[4]。为了降低成本,笔者选用喷射式水路冷却法。喷射式水路指在型芯中部加工 1 个盲孔,盲孔中插入 1 根冷却水管,冷却介质经过冷却水管喷射到盲孔底部后溅入盲孔与水管间隙中倒流并从出口处排出。

加入喷射式水路后的数值化模型见图 4,在每个型芯中开设 2 个喷射水路。此时,模拟计算后制品底部的最大翘曲变形量为 0.063 mm。考虑到 Moldflow 软件模拟结果与样件实测结果之间存在 35% 的误差,0.063 mm 的模拟结果可以满足实际要求。

3 结论

从逐步优化的结果看,在降低制品底端翘曲变形量的过程中,冷却系统的改进效果最为明显。制品底面最大允许跳动值从 0.15 mm 降至 0.10 mm 后不需要制造新的模具,通过对现有模具进行修模就可以生产出合格的制品。

基于上述分析,对现有模具的冷却系统进行改进,发现试模效果良好。对修模后的注射样件进行检测发现,所有的控制尺寸均能满足设计要求,制品底面跳动最大值为 0.096 mm。只有 1 个非控制尺寸超差,但由于该尺寸并不影响微电机的功能和装配,所以递交 ISIR 时,很快得到批准。由于该案例首先利用 Moldflow 对制品的变形进行预测,从而大大缩短了修模、试模时间及产品研发周期,降低了生产费用。

参考文献

- [1] 单岩,王蓓,王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 左大平,张益华,芮玉龙. 玻璃纤维增强 PA66 制品翘曲变形的研究[J]. 工程塑料应用,2005,33(12):23-25.
- [3] 曹宏深,赵仲治. 塑料成型工艺及模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,1993.
- [4] Temesvary L. Mold cooling: Key to fast molding[J]. Modern Plastics, 1996(10):55-59.

MOLDING QUALITY IMPROVEMENT FOR PLASTIC GEAR

Guo Zigui, Zuo Daping, Hu Xidong

(Zhangjiajie Institute of Aeronautical Engineering, Zhangjiajie 427000, China)

ABSTRACT The reasons caused the warpage of plastic cylindrical gear of motor were analyzed. Through optimizing the injection condition, gate location and cooling system, the runout of bottom plane was reduced to meet the technique specification under the condition of ensuring other control dimensions immutably.

KEYWORDS molding quality, injection mould, cylindrical gear, runout, warpage