

汽车起动机齿轮拨叉失效分析

左大平 徐政坤

王 艳 王雪红

(张家界航空工业职业技术学院, 张家界 427000) (湖南工业职业技术学院, 长沙 410000)

摘要 分析了引起汽车起动机齿轮拨叉收缩变形及强度低所引起的制品失效原因, 采用定型棒对制品进行定型以补偿拨叉的收缩变形; 通过改进浇口位置来调整玻璃纤维在制品中的取向, 使拨叉受力方向与玻璃纤维取向平行, 从而消除了制品因强度低所引起的失效。

关键词 拨叉 尼龙 66 尺寸收缩 断裂 取向

塑料因具有密度低、比强度高、绝缘性能好、化学稳定性好、减摩耐磨性好、成型工艺性好、生产效率高和价格低廉等诸多优点, 逐渐成为金属的良好代用材料。目前, 在许多领域都出现了金属材料塑料化的趋势。特别是近年来, 随着汽车向家庭化、舒适化及节能性、环保性等方向的发展, 汽车零部件的轻量化、低成本已经成为各大汽车厂商的主要目标。因此, 汽车用塑料无论是在用量还是在品种上都得到了快速增长。

但是与金属相比, 塑料仍然存在着强度、刚度较低, 因收缩变形而引起尺寸稳定性差等不足。这些因素已成为塑料在汽车工业中推广普及的瓶颈。所以目前关于如何提高塑料制品的强度、刚度和尺寸稳定性等课题仍然是汽车行业研究的热点之一。

笔者着重分析汽车起动机齿轮拨叉因收缩变形和强度低所引起的制品失效原因, 并进一步提出关于如何提高拨叉注射成型的尺寸精度和强度的具体措施。

1 拨叉的成型工艺与检测

1.1 拨叉外形与成型材料

汽车起动机齿轮拨叉结构如图 1 所示。拨叉全长 87.5 mm, 最大壁厚(z 向, 下同) 为 15 mm, 最小壁厚为 7 mm, 叉柄宽度为 8.8 mm。拨叉叉口内侧宽度为 (40.4 ± 0.25) mm, 精度要求较高。成型材料为杜邦公司生产的玻璃纤维增强尼龙 66 (PA66), 牌号为 PA66/GF33。浇口设置在制品的中部。

1.2 拨叉成型工艺条件

PA66 熔体对水的敏感性很强, 微量水分就可以使其发生水解反应, 从而使相对分子质量变小, 所以必须严格控制其含水量。注塑前用电热烘箱对材料进行干燥处理, 干燥温度为 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$, 物料厚度小于 30 mm, 每小时翻料一次, 连续预热 $6 \sim 8$ h。注射

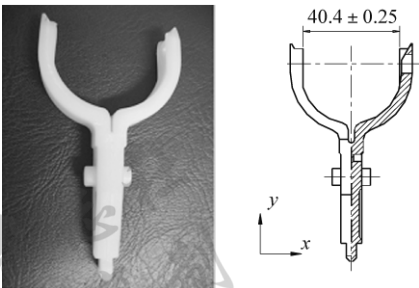


图 1 汽车起动机齿轮拨叉

成型工艺条件见表 1。

表 1 拨叉注射成型工艺条件

项 目	数 值
料筒温度 / $^{\circ}\text{C}$	后段
	240 ~270
	中段
前段	230 ~260
	210 ~240
喷嘴温度 / $^{\circ}\text{C}$	220 ~240
模温 / $^{\circ}\text{C}$	60 ~90
注射压力 / MPa	15 ~20
注射成型周期 / s	36 ~45

1.3 拨叉质量检测

按设计要求, 制品质量检测主要集中在尺寸和强度两个方面。叉口内侧宽度必须控制在设计要求范围之内。抽取 10 件样件进行叉口内侧宽度检测, 结果见表 2。从表 2 可以看出, 叉口内侧的平均宽度为 39.68 mm, 小于设计尺寸 (40.4 ± 0.25) mm。

表 2 叉口内侧宽度检测结果

样件编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
叉口内侧宽 / mm	39.70	39.64	39.68	39.72	39.66	39.70	39.66	39.72	39.70	39.64

拨叉工作时, 通过端面拨动齿轮移动而实现起动机离合。所以拨叉需要有足够的强度。按设计要求, 拨叉需承受 1 900 N 的外力而不发生断裂, 如图 2 所示。在万能材料试验机上按 QB 160 -89

(013/1) B 进行强度测试试验。在首次注塑制品中抽取 10 件样件进行检测, 共有 8 件样件在浇口处发生断裂。

由此看来, 注射成型的拨叉无论是在尺寸上还是强度上, 均不能满足设计要求。

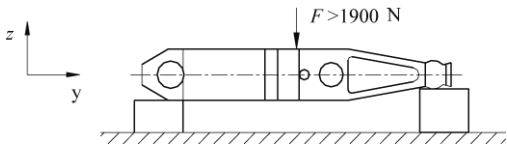


图2 拨叉强度测试示意图

2 收缩变形的补偿

2.1 收缩变形的原因分析

塑料制品的变形形式主要有收缩变形和翘曲变形^[1]。PA66 翘曲变形主要表现在制品的厚度方向上, 宽度方向的变形主要是收缩变形。笔者在对玻璃纤维增强 PA66 平板件的翘曲变形研究时发现, 当制品厚度达到 6 mm 时, 厚度方向的翘曲变形量远小于平面方向的收缩变形量^[2]。所以, 齿轮拨叉的主要变形形式是收缩变形。

注塑制品的收缩变形有两种主要形式, 即线尺寸收缩与后收缩^[3]。线尺寸收缩是由于塑料熔体在冷却过程中收缩及制品内部的物理与力学性能变化等原因, 导致制品脱模冷却到室温后尺寸变小的现象。线尺寸收缩在模具设计时必须予以考虑, 以求通过增加制品的尺寸来进行补偿。拨叉注塑模具在设计过程中也考虑到了这个问题, 将收缩率设置为 0.6%。制品脱模后, 因各种残余应力松弛而产生时效变形, 时效变形所引起的制品尺寸变小的现象称为后收缩。一般来讲, 制品在脱模后 10 h 内后收缩比较明显, 24 h 后基本定型^[4]。

塑料制品的收缩变形还有一种普遍的特征, 即收缩的方向性。收缩的方向性使制品沿不同方向收缩率不一致。对于 PA66 来说, 在添加玻璃纤维后这种现象更加明显, 主要体现在垂直于玻璃纤维方向的收缩率大于平行于玻璃纤维方向的收缩率。PA66/GF33 在平行于玻璃纤维方向上的最大收缩率为 0.3%; 而在垂直于玻璃纤维方向上的最大收缩率为 1.2%, 是平行于玻璃纤维方向的 4 倍^[5]。由此可以看出, 设计模具时所设置的 0.6% 的收缩率小于制品宽度方向的实际收缩率。

2.2 收缩的补偿

由于拨叉实测尺寸偏小而不能满足设计要求, 所以必须对其进行收缩补偿。对拨叉的收缩补偿有

两套方案: 一是修模, 增加型芯、型腔的成型尺寸; 二是脱模后对制品施加外力, 使制品定型。

鉴于拨叉其它部位尺寸要求不高, 同时为了降低生产成本, 最终选用第二套方案对叉口内侧宽度进行变形补偿。具体操作方法是: 将拨叉脱模后立即去除流道与飞边, 并用 42.3 mm 的定型棒压入叉口中间定型 20 ~30 min。定型处理后抽取 10 件样件进行测量, 数据见表 3。由表 3 可以看出, 叉口内侧宽度尺寸满足设计要求。这说明定型处理的方案是完全可行的。

表3 定型处理后的叉口内侧宽度检测结果

样件编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
叉口内侧宽/mm	40.58	40.62	40.46	40.50	40.54	40.48	40.64	40.38	40.42	40.48

进行强度试验, 结果拨叉仍然存在断裂失效现象, 并且断裂失效的比例还略高于定型棒定型前的比例。

3 强度失效分析与改进

3.1 降低制品内部的残余应力

影响塑料制品的强度因素除了塑料本身的力学性能之外, 还有一个重要的因素就是成型过程中制品内部的残余应力。注射成型过程中, 制品的应力有主动应力和诱发应力两种^[3]。其中, 诱发应力容易保留在制品内部, 从而转化为残余应力。诱发应力形成的原因很多, 如塑料熔体因变形滞后效应在制品中产生的时效应力; 制品在冷却过程中因温差或收缩不均匀引起的应力; 末端效应引起的弹性应力; 制品脱模时因型腔压力和外界压力的差值引起的应力及制品受外力作用产生的应力等。

由于拨叉脱模后直接采用定型棒进行定型, 在制品内部会产生较大的残余应力。这也就是为什么定型后的制品要比定型前的制品断裂失效比例略有增加的原因。

降低残余应力对制品强度的影响可以在制品结构设计和注塑工艺参数优化时进行考虑, 也可以进行后处理。拨叉后处理的具体方法是将制品放入 90 ~100℃的水中煮 50 ~60 min 后断开电源, 随水冷却至室温取出。然后将制品放入 110℃电热烘箱中烘烤 8 ~9 h。但是经后处理后的拨叉仍然有 65% 不能满足强度要求。

3.2 玻璃纤维取向对制品强度的影响

前已述及, 塑料制品的收缩是各向异性的。实际上制品的力学性能也具有各向异性的特点。当聚

合物的分子链段在制品内部呈现有序排列时,在制品内部就形成了一定的取向。制品在平行于取向方向上的力学性能显著增加,而在垂直于取向方向上的力学性能显著下降。注塑制品在平行于分子取向方向上的拉伸强度和冲击强度分别是垂直于取向方向上的1~2.9倍和1~10倍^[6]。由于玻璃纤维在长度上远大于PA66的分子链,力学性能也远高于PA66,所以玻璃纤维的取向必将对制品力学性能的各向异性产生更大的影响。

图3是利用注塑模CAE软件Moldflow,根据拨叉注塑模具的结构与成型工艺条件模拟计算得到的制品中玻璃纤维取向图。从图3可以看出,在浇口附近存在一个狭小的区域,玻璃纤维基本上沿着竖直方向分布,而在其它大部分区域,玻璃纤维则沿水平方向分布。当拨叉承受竖直方向的压力时,叉杆上层受压、下层受拉。浇口附近区域内的力的作用方向均垂直于玻璃纤维的取向,强度最弱,因而最容易在此处发生断裂。

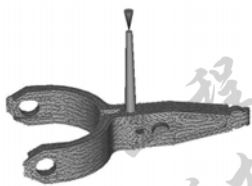


图3 浇口设置在制品中部时玻璃纤维取向图

3.3 浇口的改进

为了提高制品的强度,必须对玻璃纤维取向进行改善。改变玻璃纤维取向的方法主要有下面三种,即优化注射工艺参数、更改制品厚度和改进浇口^[7]。由于拨叉壁厚较大,熔体流动阻力较小,玻璃纤维基本是沿着熔体流动方向分布的,所以前面两种方法很难达到预期的效果。采用第三种方法,即将浇口的位置由制品中部改设在叉柄的末端。浇口改进后的制品中玻璃纤维取向单一,基本沿着水

平方向分布,如图4所示。抽样检测浇口改进后的注塑制品,强度100%合格。



图4 浇口改进后的玻璃纤维取向图

4 结论

虽然玻璃纤维可以大大增强尼龙制品的力学性能,但同时玻璃纤维的取向也有可能进一步增加制品的各向异性,使制品在收缩和力学性能上出现较大的方向性差异,从而增加了废品率。因此,在设计注塑模具时,一定要结合制品的具体结构、工作环境等因素,尽量使制品内部玻璃纤维取向分布合理。

拨叉注塑模具在浇口位置改进后,玻璃纤维取向均垂直于外力作用方向。当外力作用于拨叉端面时,拨叉发生弯曲变形,上层塑料承受压力,下层承受拉力。由于受力方向均与玻璃纤维方向平行,因而可以大大提高拨叉的强度,从而消除了制品因强度不够所引起的失效。

参考文献

- [1] Menges G, Michaeli W, Mohren P. How to make injection molds [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 346.
- [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. 塑料成型工艺与模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993: 392-394.
- [4] 马之庚, 陈开来. 工程塑料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 192.
- [5] Titomanlio G, Jansen K M B. In-mold shrinkage and stress prediction in injection molding[J]. Polym Eng Sci, 1996, 36(5): 189-192.
- [6] 陈永生译. PA6和PA66性能比较[J]. 国外塑料, 1994(04): 29-31.
- [7] 王刚, 单岩. Moldflow模具分析实例教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 25.

ANALYSIS ON FAILURE AUTOMOTIVE STARTER FORK-LEVER

Zuo Daping, Xu Zhengkun

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

Wang Yan, Wang Xuehong

(Hunan Industry Polytechnic, Changsha 410000, China)

ABSTRACT The failure automotive starter fork-leve causing by shrinkage and lower strength was analysed. In order to counter-act the shrinkage, the author used a special pole to correct the dimensions for every molded fork-lever. The position of gate was optimized in order to adjust the orientation of glass fiber being parallel to the force direction of fork-lever, and the failure fork-levers causing by lower strength was avoided.

KEYWORDS fork-lever, nylon 66, shrinkage, cracking, orientation