

玻璃纤维增强 PA66 制品翘曲变形的研究

左大平^{1,2} 张益华¹ 芮玉龙¹

(1.南京航空航天大学,南京 210016; 2.张家界航空工业职业技术学院,张家界 420017)

摘要 针对玻璃纤维增强尼龙 66(PA66/GF)注射成型制品存在的翘曲变形缺陷,运用 Moldflow MPI 软件对 PA66/GF 进行了注射成型模拟分析。结果表明,GF 的取向是影响 PA66/GF 注射成型制品翘曲变形的主要原因;增加制品厚度或增设浇口均可有效减小制品的翘曲变形。

关键词 玻璃纤维 尼龙 66 注射成型 翘曲 工艺参数 优化

尼龙(PA)是一种用量最大、品种最多、开发最早的工程塑料。由于 PA 具有良好的力学性能、耐磨性、自润滑性、耐腐蚀性、气体阻隔性、电绝缘性和成型加工性能,因而被广泛地应用于机械、汽车、电子电气、纺织、化工、航空、冶金等领域,成为许多行业不可缺少的结构材料。但是与金属相比,PA 还存在着强度、刚性较低,因吸水率大而引起的尺寸稳定性差等不足。为此,人们用玻璃纤维(GF)、石棉纤维、碳纤维、钛酸钾晶须等增强改性 PA,在很大程度上弥补了 PA 性能上的不足。其中以 GF 增强 PA(PA/GF)的应用最为普遍。GF 具有提高 PA 的硬度、密度和刚性,提高热变形温度,降低物理力学性能对湿度、温度的依赖性,降低收缩率,改进 PA 蠕变行为和表观质量等功能。

PA/GF 适用于注射成型、挤出成型等多种加工方式。在实际生产过程中,PA/GF 注射制品常存在翘曲变形缺陷,笔者运用 Moldflow MPI 软件对 PA66/GF 进行注射成型模拟分析,提出了减小 PA66/GF 制品翘曲变形的具体解决方案。

1 PA66/GF 的注射成型工艺

1.1 原料的预处理

PA66 熔体对水很敏感,微量水分就能使 PA66 发生水解反应,使其分子量变小,所以必须严格控制其含水量。PA66 允许的含水量不能超过 0.1%,但 PA66 的吸水性特别强,饱和含水量可达到 3%^[1],因此 PA66 在注射成型前需要进行预热干燥处理。

PA66 的预热干燥处理通常是在(85±5)℃的干燥箱内干燥 6~8 h。如果含水量大于 0.2%,则建议采用更高的温度(105℃);由于 PA66 在高温下容易发生氧化变色,所以当温度过高时应在真空干燥箱中进行预热干燥处理^[2]。

1.2 PA66/GF 的注射工艺条件

PA66/GF 的注射工艺条件列于表 1^[3]。

表 1 PA66/GF 的注射工艺条件

项 目		工艺条件
料筒温度/℃	后段	288~299
	中段	277~282
	前段	271~277
喷嘴温度/℃		260~277
模温/℃		90~121
注射压力/MPa		80~120
总成型周期/s		≈50

PA66 还有一个突出的特性就是熔点高,加工温度范围窄(约 10℃左右),因此应严格控制注射工艺条件。

2 PA66/GF 注射成型制品的翘曲变形

2.1 PA66/GF 的注射成型模拟分析

笔者运用 Moldflow MPI 软件对 PA66/GF 进行注射成型模拟分析。为使分析结果直观,将分析对象简化为图 1 所示的平板制品,板厚 2.5 mm。

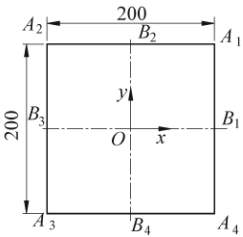


图 1 平板制品尺寸图

材料选用美国 Du Pont Engineering Polymers 公司生产的 PA66/GF,牌号为 PA66/GF30,GF 质量分数 30%。

注射成型分析的 CAE 模型如图 2 所示。冷却水道直径 10 mm,水道间距 40 mm,水道与型腔表面最小距离 25 mm,进水口水温 25℃,雷诺数 10 000,直浇口设在制品中心 O 点处,注射时间 2.2 s,注塑压力 70 MPa,总成型周期 35 s,保压时间 10 s,开模取制品时间 5 s,保压压力 56 MPa。制品的翘曲变



图 2 注射成型分析的 CAE 模型

形结果列于表 2。

表 2 平板制品的翘曲变形结果

$A_1 A_2 /$ mm	$B_1 B_3 /$ mm	$(Z_{Ai})_{\max}^{1)} /$ mm	$(Z_{Bi})_{\max}^{2)} /$ mm	$Z_o^{3)} /$ mm	$ Z_{\max} ^{4)} /$ mm	制品最大 温差 / $^{\circ}\text{C}$
198.4	197.0	-1.412	-3.540	6.602	10.142	18.3

注: 1) Z 轴方向上 4 个角点 $A_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 的最大翘曲变形量;
2) Z 轴方向上边界线中点 $B_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 的最大翘曲变形量;
3) Z 轴方向上浇口处的翘曲变形量;
4) Z 轴方向上的最大相对翘曲变形量。

从表 2 可以看出, 平板制品注射成型后边缘向下翘曲, 但中点 B_1 的变形要大于角点 A_i ; 中线 $B_1 B_3$ 的长度要小于边缘线 $A_1 A_2$ 。这说明制品边缘向下凹的同时还向内收缩, 形成一条空间曲线。浇口处向上翘曲变形 6.602 mm, 制品边界中点 B_1 向下翘曲变形 3.540 mm, 其相对翘曲变形量为 10.142 mm。由此可以看出, PA66/GF30 注射成型制品的翘曲变形量非常大。

2.2 产生翘曲变形的原因及改进方法

注射成型制品翘曲变形过大的原因有 3 条: 收缩不均匀、取向不均匀和冷却不均匀^[4]。笔者运用 Moldflow MPI 软件分析平板制品产生翘曲变形的原因, 得到表 3 所示的结果。

表 3 产生翘曲变形的原因

变 量	灵敏度因子
收缩不均匀	2.295×10^{-1}
取向不均匀	8.980×10^1
冷却不均匀	3.162×10^{-2}

从表 3 可以看出, 由 GF 取向不均匀所引起的翘曲变形灵敏度因子是由收缩不均匀所引起的 391 倍, 是冷却不均匀所引起的 2840 倍。这说明 PA66/GF30 制品翘曲变形的主要原因是由于 GF 取向不合理所致。要想从根本上减小制品的翘曲变形, 就必须改变现有的 GF 取向。

改变 GF 取向主要有优化注射工艺参数、更改制品厚度和改进浇口 3 种方法。

可优化的注射工艺参数包括模具温度、熔体温度、保压方式和冷却条件等。优化注射工艺参数是

一种最经济、最方便的方法, 因为不需要修改制品和模具的结构。

更改制品厚度, 往往需要改变制品的设计过程和模具结构, 并且有些制品在形状、尺寸上都有严格的要求, 厚度不可随便更改。所以更改制品厚度的方法有一定的局限性。

如果上面两种方法都不可行或无法使翘曲变形量减小到所要求的误差范围之内, 那么就只有改进浇口了。浇口的位置、大小、数目和类型都能影响 GF 的取向。如果注射模具已经制造完成, 这种方法就比较麻烦; 但如果在模具设计过程中就对制品进行注射成型 CAE 分析, 预测成型过程中可能会出现各种问题, 那么这种方法同样十分方便。浇口一旦被更改, 则需要重新进行充填、冷却、保压、翘曲变形等内容的模拟计算。

2.3 减小翘曲变形的具体方案

(1) 优化注射工艺参数

保持其它工艺参数不变, 将总成型周期延长为 50 s, 冷却水温由 25 $^{\circ}\text{C}$ 升高到 60 $^{\circ}\text{C}$, 模具温度设定为 80 $^{\circ}\text{C}$, 保压方式由传统的直线保压方式调整为曲线保压方式, 优化后的保压曲线如图 3 所示。注射工艺参数优化后制品的翘曲变形结果列于表 4。

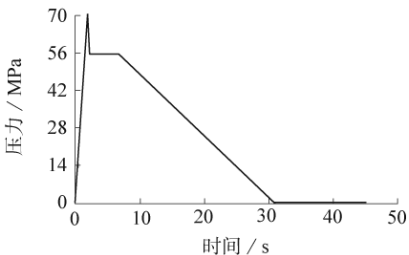


图 3 优化后的保压曲线

表 4 注射工艺参数优化后制品的翘曲变形结果

$A_1 A_2 /$ mm	$B_1 B_3 /$ mm	$(Z_{Ai})_{\max} /$ mm	$(Z_{Bi})_{\max} /$ mm	$Z_o /$ mm	$ Z_{\max} /$ mm	制品最大 温差 / $^{\circ}\text{C}$
198.4	197.3	-2.447	-2.094	5.132	7.579	16.7

从表 4 可看出, 注射工艺参数优化后, 制品最大相对翘曲变形量降低, 但降幅不大。制品内部温度分布越来越均匀, 最大温差仅为 16.7 $^{\circ}\text{C}$ 。这说明注射工艺参数设置已经达到优化的目的, 但仍不能大幅降低制品的翘曲变形, 所以仅靠优化工艺参数的方法来减小翘曲变形的作用是有限的。

(2) 更改制品厚度

在注射工艺参数不变的情况下, 通过改变制品厚度来分析厚度对 PA66/GF30 制品翘曲变形的影响。表 5 列出不同厚度的平板制品的翘曲变形结

果。

表 5 制品厚度对翘曲变形的影响

项 目	厚度 /mm				
	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
A_1A_2 /mm	198.5	198.6	198.7	198.7	198.7
B_1B_3 /mm	197.7	197.8	198.0	198.1	198.2
$(Z_{Ai})_{\max}$ /mm	-1.526	-2.017	1.248	0.214	0.173
$(Z_{Bi})_{\max}$ /mm	-2.115	-1.242	0.577	0.015	0.012
Z_o /mm	5.450	4.190	-2.200	-0.244	-0.110
$ Z_{\max} $ /mm	7.565	6.207	3.448	0.458	0.283
制品最大温差 /℃	15.7	15.1	13.4	11.1	8.8

由表 5 可以看出,当制品厚度大于等于 4.5 mm 时,最大相对翘曲变形量减小到小于等于 0.458 mm。由此可见,通过增加制品厚度可以有效地减小翘曲变形量,并且效果十分明显。随着制品厚度的增加,制品中线长度有所增加,制品的最大温差也急剧降低,当制品厚度大于等于 4.5 mm 时,最大温差已接近或小于 10℃,达到比较理想的结果,制品内部应力分布均匀,从而可以保证制品在脱模后不会出现较大的翘曲变形。

(3) 改进浇口

在其它条件不变情况下,将浇口数目由 1 个增加到 4 个。修改后的注射成型分析模型如图 4 所示。

重新进行模拟计算,制品翘曲变形结果列于表 6。由表 6 可以看出,通过增加浇口数目可以使制品的最大相对翘曲变形量降低到 0.12 mm。同时,制品的平面尺寸也发生了较大的变化,如 B_1B_3 的长度变为 198.9 mm,与边界线 A_1A_2 长度的差仅为 0.1

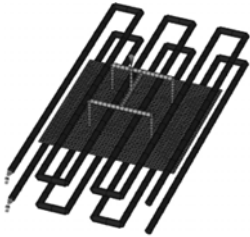


图 4 浇口改进后的 CAE 模型

mm。由此可见,通过改进浇口可有效地减小制品的翘曲变形。如平面尺寸的变形量大于厚度方向上的翘曲变形量,则可以在模具设计过程中通过设置参考模型的收缩率来进行预补偿,以满足平面方向上的尺寸精度。

表 6 浇口改进后制品的翘曲变形结果

A_1A_2 /mm	B_1B_3 /mm	$(Z_{Ai})_{\max}$ /mm	$(Z_{Bi})_{\max}$ /mm	Z_o /mm	$ Z_{\max} $ /mm	制品最大温差 /℃
199.0	198.9	-0.064	0	0.056	0.12	7.9

3 结论

对于 PA66/GF 注射成型制品来说,GF 取向不均匀是产生翘曲变形的主要原因。优化注射工艺参数对减小制品的翘曲变形有一定作用;增加制品厚度或采用多浇口注射均能使 GF 取向单一的情况得到明显改善,从而有效减小制品的翘曲变形。

参考文献

1 陈永生.PA6 与 PA66 性能比较.国外塑料,1999(4):29
2 曹宏深,赵仲治.塑料成型工艺与模具设计.北京:机械工业出版社,1993.
3 马之庚,陈开来.工程塑料手册.北京:机械工业出版社,2004.
4 单岩,王蓓,王刚. Moldflow 模具分析技术基础.北京:清华大学出版社,2004.

STUDY ON WARPAGE OF PA66/GF PART

Zuo Daping^{1,2}, Zhang Yihua¹, Rui Yulong¹

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Zhangjiajie Engineering Vocational and Technical College, Zhangjiajie 420017, China)

ABSTRACT The injection molding process of PA66/GF part was analyzed by using Moldflow MPI software to overcome the warpage. The results showed that the warpage was mainly caused by GF orientation; the distortion degree could be decreased effectively by increasing part thickness or mould gates.

KEYWORDS glass fiber, nylon 66, injection molding, warpage, process parameter, optimization

全球塑料抗氧剂需求稳增

据 Ownsend 公司日前预测,2009 年前,全球抗氧剂消费量年增长率为 5%。该公司称,世界塑料抗氧剂消费量现为 31.8 万 t/a。2009 年中国占全球消费总量的 6%。鉴于树脂生产快速增长,预计至 2009 年中国将占全球消费总量的 10%。亚太地区(不含中国)是 2004 年世界最大消费地区,

占 30%;其次是欧洲和北美,分别约占 25%。(金秋)

聚碳酸酯用作汽车窗用玻璃获美国认证

GE 塑料/拜耳材料科学公司合资企业的最新汽车用聚碳酸酯窗用玻璃系统,获得美国高速公路交通安全委员会(NHTSA)的认证。这意味着,聚碳酸酯窗用玻璃系统可用作汽车除挡风玻璃以外的安全窗用玻璃材料。(云)