

PA6/GF 复合材料注射成型模拟流动分析

马克明 刘 红

(沈阳航空工业学院材料工程系,沈阳 110034)

摘要 采用模拟流动分析软件 MPI,借助有限元分析方法对玻璃纤维增强尼龙 6(PA6/GF)复合材料的注射成型过程进行了模拟流动分析,研究了 PA6/GF 复合材料制品的纤维取向对最终力学性能的影响,获得了可满足实际设计要求的模具浇注和冷却系统布置、注塑机锁模力曲线和推荐的螺杆速度曲线等参数,对于缩短 PA6/GF 复合材料注射成型设计周期、提高制品质量具有重要的指导意义。

关键词 尼龙 6 玻璃纤维 复合材料 注射成型 模拟流动分析

近年来短纤维增强树脂基复合材料因具有高强度、高弹性模量、高刚度,以及抗蠕变性能好等优点而得到了广泛的应用,这类复合材料多采用注射成型方式加工成制品。由于这类制品的壁厚一般较薄,同时由于加入了短切纤维,使其成型过程比常规的成型过程要复杂得多。工业上常用的纤维增强复合材料所含纤维的体积分数一般为 10%~50%,因此在进行模拟流动分析时,必须同时充分考虑到熔体动力学、熔体对纤维的作用,以及纤维之间的相互作用对纤维取向的影响。短纤维的三维取向及其在成型过程中的变化进一步增加了成型制品的复杂性。此外,基体树脂的性质、纤维的形状系数和体积分数、成型条件特别是填充速度等都将影响纤维的取向,从而进一步影响复合材料制品的各项力学性能^[1]。因此,如何在较低的成本和最短的周期条件下设计出既能满足生产工艺需要又能保证制品质量要求的模具,一直是业界积极探讨的热点之一。传统的方法是凭经验进行试制,这不仅耗时耗力,而且难以保证产品质量,这种作法已经很难满足现代复合材料模具设计的需要。在模具设计与制造过程中采用数字化技术进行仿真模拟,是提高模具开发效率、降低生产成本和提高产品质量的有效途径之一。借助计算机辅助工程(CAE)技术,可以对树脂基复合材料的注射成型进行模拟流动分析,直观地模拟树脂在模具中的流动状态,并通过改变模具结构和注塑工艺参数对充模过程进行调整,以获得最好的宏观充模效果^[2]。

笔者利用模拟流动分析软件 Moldflow Plastics Insight(MPI)对短玻璃纤维增强尼龙 6(PA6/GF)复合材料的注射成型过程进行了模拟流动分析,获得了一系列模拟结果,从而为确定模具结构及成型工艺、预测制品的力学性能和翘曲偏差等缺陷提供

了可靠的依据。

1 建模

在 Pro/E 中建立的制品实体模型如图 1 所示。制品各壁厚度均为 3 mm,顶面有一个箭头形通槽,设计要求制品在 X、Y、Z 三个方向的翘曲不能超过 0.5 mm。将模型通过 STL 文件格式导入 MPI,在 MPI 中对模型进行有限元网格划分,然后对模型的单元网格进行修补编辑,使所有网格单元的纵横比均小于 10,从 MPI 的有限元网格统计结果可以确定所进行的网格编辑是否理想,这样有利于缩短计算机进行流体流动非线性分析所需的计算时间,从而大大提高分析效率。在进行模拟分析之前,首先要进行浇口位置分析,在最佳浇口位置建立浇注系统,然后布置适当的冷却系统。模拟分析前预处理完成后的制品有限元网格模型及所建立的浇注系统与冷却系统如图 2 所示。从图 2 可以看出,制品的浇注系统和冷却系统不存在冲突。



图 1 制品的三维模型

2 PA6/GF 制品的材料参数

PA6: Capron 8233GHS, 美国 Honeywell Plastics 公司;

GF: 密度 2.54 g/cm^3 , 弹性模量 72 GPa, 长径比 25, 美国 Honeywell Plastics 公司, 加入的 GF 质量分

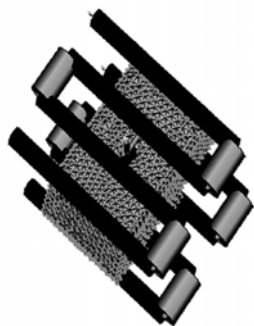


图 2 制品的浇注系统和冷却系统布置

数为 33%。

3 模拟结果分析

采用上述材料和软件默认的注塑工艺参数对制品的冷却、流动和翘曲过程进行计算机模拟流动分析, 得到了一系列 PA6/GF 复合材料注射成型的模拟结果。

3.1 PA6/GF 制品中 GF 平均取向

图 3 为注射成型制品的 GF 平均取向。纤维取向是决定制件力学性能的主要因素, 影响纤维取向的因素较多, MPI 可以预测纤维在整个成型过程中的运动及其在制件各个方向上的平均取向。通过优化浇口位置可优化填充形式和纤维取向以减小制件的收缩变形和翘曲, 并尽可能使纤维沿制品受力方向排列, 从而提高制品的强度。从图 3 可以看出, GF 的取向在点浇口位置呈发散分布, 而在制品上箭头方向相反区域大多数沿着箭头方向取向, 由此可见制品有一部分区域的力学性能会较均匀一致, 而另一部分则会出现明显的各向异性。至于这种 GF 取向的不一致是否会使制品的翘曲超过规定的限度, 则可通过进一步的翘曲分析作出判定。

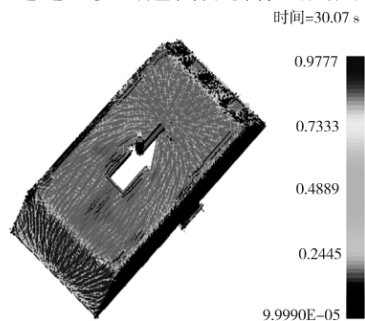


图 3 制品的 GF 平均取向

3.2 PA6/GF 制品拉伸弹性模量分布

图 4、图 5 分别为注射成型制品中 GF 第一、第二方向的拉伸弹性模量等高线图。从图 4、图 5 可以看出, 在两个方向上 GF 的拉伸弹性模量与图 3

中 GF 的平均取向相对应。在浇口位置附近区域, GF 第一、第二方向的拉伸弹性模量等高线曲线的形状基本一致, 第一方向的拉伸弹性模量最大值为 7275.9 MPa; 而第二方向的拉伸弹性模量最大值为 7168.6 MPa, 弹性模量值基本相同, 呈现出各向同性。在制品箭头方向相反区域, GF 两个方向的拉伸弹性模量等高线曲线形状基本一致; 但是从对应的颜色云图来看, 第一方向的弹性模量值远大于第二方向的弹性模量值, 呈现出各向异性。由此可见, 制品在箭头方向上所能承受的力将大于垂直于箭头方向上所能承受的力。

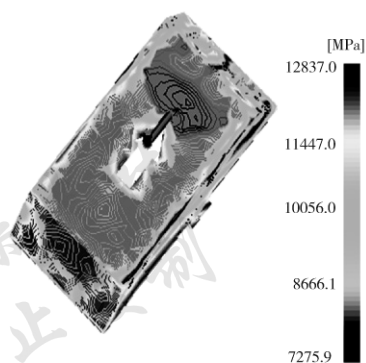


图 4 GF 第一方向拉伸弹性模量等高线

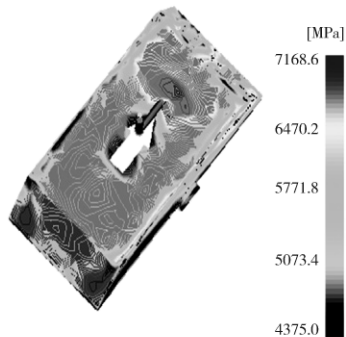


图 5 GF 第二方向拉伸弹性模量等高线

3.3 PA6/GF 制品翘曲分析

制品翘曲是因其收缩变化过大所引起的缺陷。原则上导致制品收缩变化过大的原因有三个, 即收缩不均匀、取向不均匀和冷却不均匀^[3], 因此浇注系统和冷却系统的布置会直接影响到制品的翘曲。借助 MPI 软件可以判断出引起翘曲的主要原因。图 6 示出对制品进行翘曲分析所得的制品总体及 X、Y、Z 方向上的偏差。从图 6 可以看出, 该 PA6/GF 制品的总体偏差为 0.3399 mm, 而 X、Y、Z 方向上的偏差分别为 -0.2988、-0.2923 mm 和 0.2179 mm, 即制品在各方向上的翘曲变形量均在 0.5 mm 以内, 由此可见所采用的浇注系统和冷却系统可满

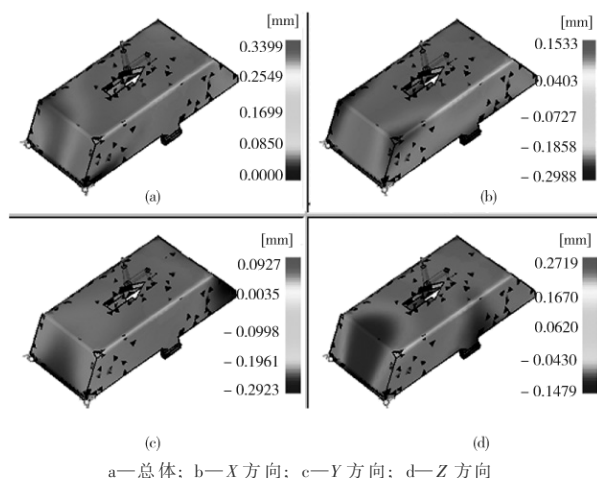


图6 制品总体及X、Y、Z方向上的翘曲偏差

足设计要求,不必进一步分析引起翘曲的主要原因。

3.4 注塑机锁模力-时间曲线和螺杆速度-时间曲线

图7、图8分别为模拟流动分析获得的注塑机锁模力-时间曲线和推荐的螺杆速度-行程曲线。从图7可以看出,在1.59 s时锁模力达到最大值(38.12 kN),在11.17 s时压力释放。从图8可以看出,在注塑机螺杆到达50%行程时,推荐的螺杆速度达到最大值(100%),根据这两条曲线设定注塑机的相关参数,可获得满足设计要求的制品。

4 结论

(1) 模拟流动分析表明,在PA6/GF复合材料的注射成型过程中,浇口位置的布置会直接影响玻璃纤维的分布与取向,从而决定制品各个方向上的拉伸弹性模量。

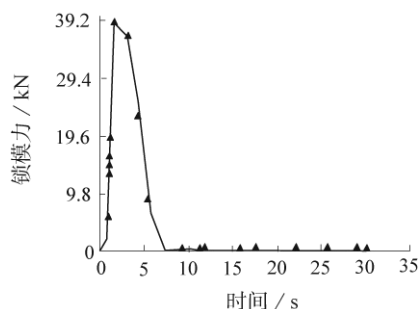


图7 锁模力-时间曲线

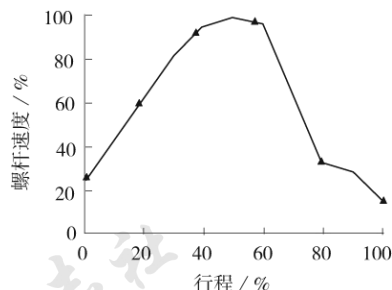


图8 推荐的螺杆速度-行程曲线

(2) 通过模拟流动分析可以直观地判断制品在各个方向上的翘曲变形量,从而为改善模具结构和成型工艺提供依据。

(3) 通过模拟流动分析可以获得一系列满足设计要求的工艺参数。

参考文献

- 1 马宏林. 航空航天用树脂基复合材料. 宇航材料工艺, 1996(2): 12
- 2 陈祥宝. 先进复合材料低成本技术. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- 3 单岩, 王蓓, 王刚, 等. Moldflow 模具分析技术基础. 北京: 清华大学出版社, 2004.

FLOW SIMULATION ANALYSIS OF INJECTION MOLDING FOR PA6/GF COMPOSITES

Ma Keming, Liu Hong

(Department of Material Engineering, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, China)

ABSTRACT The injection molding process of PA6/GF composites was analyzed by using flow simulation analysis software MPI, with the aid of finite element analysis method. The influence of fiber orientation on the final mechanical properties of the molded parts was studied. The parameters including mould pouring and cooling system disposal, clamp force curve and recommended ram speed curve which could meet real design demand were obtained. These parameters were of important guiding significance to shorten injection molding period and improve the quality of parts.

KEYWORDS nylon 6, glass fiber, composite, injection molding, flow simulation analysis

高效催化 CO₂ 合成可降解塑料通过验收

广州化学有限公司承担的国家科技攻关项目“纳米技术高效催化 CO₂ 合成可降解塑料的研究”最近通过了广州市科技局的验收。

据介绍,该公司制备的具有自主知识产权的多种担载羧酸锌类催化剂成本低、使用安全、制备简单,适合于工业化规

模生产应用。该公司还成功制备出聚合物薄膜、板材及发泡材料等新型可降解材料,为实现聚合物的商品化提供技术依据。这项成果已获授权发明专利3项,并建立了500 L中试规模聚合反应示范装置,完成了间歇聚合工艺。专家建议尽快实现 CO₂ 聚合反应的产业化试验,并加强 CO₂ 可降解塑料后续加工及制品的研究开发。

(伊敏)