

摩托车尾罩翘曲分析和工艺优化^{*}

陈元芳 夏 华 刘 春 李六如

(重庆工学院, 重庆 400050)

摘要 采用有限元方法研究了温度场、压力场对注塑件残余应力及翘曲变形的影响, 重点讨论注塑件成型过程中温度场、压力场的计算, 以及在热塑性小变形理论下的注塑件翘曲变形计算。对影响摩托车尾罩注塑件翘曲变形的因素进行分析, 提出了翘曲产生的原因及相应的改进措施。

关键词 压力场 有限元 残余应力 翘曲变形

对于注射成型来说, 最重要的是控制塑料熔体在注塑模具中的流动方式, 注塑件的很多缺陷都与熔体在模具中的流动方式有关。对于长薄壁注塑件来说, 其加工成型的质量缺陷主要表现在注塑件的翘曲变形、表面缩痕、流痕等问题上。对于这些问题, 合理地设置工艺参数起着决定性的作用^[1]。嘉陵工业集团工程装备部模具制造车间为 243 车型摩托车生产的注塑件尾罩由于翘曲变形严重, 工程师凭经验反复修改成型工艺参数和试模修模, 仍不能将变形控制在 1 mm 以内, 现应用 MPI 5.0 软件对熔体在型腔中温度场、压力场、流动场进行数值模拟, 来分析翘曲变形的原因, 并提出相应改进措施。

1 模拟成型过程数值计算

1.1 模型导入及有限元网格划分

构建的尾罩 3D 模型以*.STL 文件格式输入到 MPI 5.0 软件中。材料用的是(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS), 通过 Mesh 功能对模型进行网格划分, 在对网格进行修补时要特别注意将 Aspect Ratio 修至小于 6, 以确保计算精度。图 1 是进行了网格划分后的注塑件模型, 网格单元共 35 667 个。



图 1 尾罩的有限元网格划分

通过运行 Mesh Statistics(网格状统计), 发现网格存在一些问题, 然后逐一进行修改、解决。对于 MPI/Flow—Fusion 分析中, 网格匹配率低于 50% 会导致 Flow 分析自动中断, 网格匹配率必须超过 85%。

1.2 注射成型理论模型

(1) 二维流动模拟有限元方法^[2-4]

因厚度与长度相比可忽略不计, 所以可用二维流动来分析熔体的压力场和温度场。使用二维有限

元和有限差分的混合方法进行充模流动模拟, 即在 X—Y 平面内用有限元方法离散, 而在厚度方向和时间倒数仍采用有限差分法求解^[5]。

压力场的控制方程为:

$$-\frac{1}{x}\left(s \cdot \frac{P}{x}\right) - \frac{1}{y}\left(s \cdot \frac{P}{y}\right) = 0 \quad (1)$$

式中: $s = \Lambda^{\frac{1-\eta}{\eta}}(T)$, $\Lambda = \Lambda_x^2 + \Lambda_y^2$, $\Lambda_x = -\frac{P}{x}$, $\Lambda_y = -\frac{P}{y}$, s 为流动速率, P 为压力, T 为绝对温度, η 为与材料特性有关的常数。

压力场采用简单三角形单元(X—Y 平面内)和二次形函数来离散, 设定每个单元有 6 个节点。单元节点号 N 表示为:

$$N = \text{NELNOD}(l, k) \quad l \leq k \leq 6$$

式中: N 、 l 、 k 分别表示单元节点号码、单元号码、单元内部节点号码。

在某个单元上, 可将 s 视为常数, 压力场控制方程可离散为:

$$\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^b B_{ij}^{(l')} P'_N \quad (2)$$

式中: $B_{ij}^{(l')} = s^{(l')} \cdot \sum_{m=2}^3 D_{ijm}^{(l)}$, $D_{ijm}^{(l)}$ 可由节点的二次插值函数计算; P'_N 为节点压力; b 为型腔半高度, $l' = \text{NEL}(N, j)$, $j = 1, 2, \dots, \text{NE}(N)$, $\text{NE}(N)$ 为包含节点 N 的单元总数。

对于任一单元 l , 其温度分布可表示为:

$$T^{(l)}(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^3 L_k^{(l)}(x, y) T_k^{(l)}(z, t) \quad (3)$$

式中: t 为时间; $T_k^{(l)}(z, t) = T_l(z, t)$, l 为单元号码, 其中 $k = 1, 2, 3$ 。

^{*} 重庆市科委资助项目(2005CC20、2005CC34)、重庆信息产业局资助项目(200511006)

收稿日期: 2007-01-20

流动模拟可归结为组合压力和温度的有关边界条件、联立求解方程组的过程^[6]。

(2) 二维流动模拟翘曲计算

对于注射成型翘曲分析一般都用残余应力造成的弹性体收缩数据的经验计算公式:

$$S^{\parallel} = a_1 M_v + a_2 M_c + a_3 M_o^{\parallel} + a_4 M_{\gamma} + a_5$$
$$S^{\perp} = a_6 M_v + a_7 M_c + a_8 M_o^{\perp} + a_9 M_{\gamma} + a_{10} \quad (4)$$

式中: $S^{\perp}$ 和 $S^{\parallel}$ 为垂直和平行于流动方向的线收缩率; $a_1, \dots, a_{10}$ 为对应具体材料与收缩性有关的实验常数; M_v 为体积收缩率; M_c 为结晶度; $M_o^{\parallel}$ 、 $M_o^{\perp}$ 分别为与流动方向平行和垂直的分子定向度; M_{γ} 为体现模具对翘曲变形约束的量值。

在上述参数中, M_v 、 M_c 、 $M_o^{\parallel}$ 、 $M_o^{\perp}$ 、 M_{γ} 分别通过流动分析得到。上述数学模型考虑到了模具温度差对弯曲弹性模量的影响,所以在对注塑件作翘曲变形分析前,必须对注塑件作流动分析和温度场分析^[7]。

2 翘曲变形的分析

2.1 翘曲分析模型的准备

在翘曲分析前,必须先完成冷却和流动分析。选择Cool—Flow—Warp分析流程,其翘曲变形CAE分析步骤如图2所示。

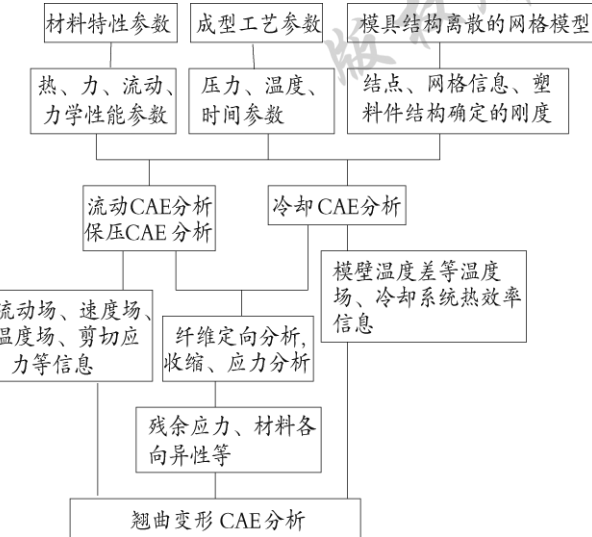


图2 翘曲 CAE 分析关系图

2.2 翘曲模拟结果分析

因尾罩的翘曲变形会影响摩托车的外观质量和装配性能,因此要保证产品的最大翘曲不得超过1 mm。由于尾罩尺寸较大,设计三个浇口。进行翘曲分析后可知,Y向变形量最大为1.140 mm,大于1 mm的翘曲允许值,如表1所示。尾罩的Y向翘曲变形量如图3所示。

表1 沿Y方向翘曲变形 mm

节点	收缩不均匀引起的变形	冷却不均匀引起的变形	分子取向不一致引起的变形	综合影响
N6512	0.04861	0.0036	0.0001	0.4861
N1893	1.140	0.0067	0.00015	1.137
N3270	0.9292	0.0036	0.0002	0.9261
N2235	1.052	0.0075	0.0001	1.052
N6403	0.6716	0.0052	0.0002	0.6702

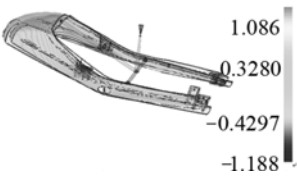


图3 尾罩的Y向翘曲变形量

根据分析结果可以看出,模壁温差的影响大于分子取向的影响,不均匀的模壁温度是注塑件厚度方向翘曲变形的主要原因;塑料收缩不均匀引起的翘曲变形最大。

根据注射流动模拟的推荐报告,进行现场工艺调试,并运用注射理论分析,可认为翘曲变形的原因主要是塑料收缩不均匀引起的;其次是在充模过程中温度不均造成冷却不一致;最后是分子取向的不一致也会引起尾罩的翘曲变形,但影响很小。

3 翘曲变形的控制措施

(1) 确定合理的注塑工艺参数,在允许的范围内,适当提高注射温度和增加注射时间。

(2) 添加增强纤维。由于增强纤维可使注塑件的热收缩变小,所以可采用添加纤维的方法抑制收缩。

(3) 合理设计冷却水道,确保冷却液在冷却流动中保持紊流状态,注塑件在全长上的温差要小于3℃。图4示出尾罩注塑模的冷却水道布置。

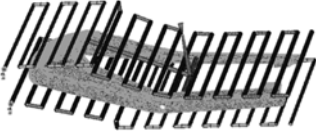


图4 尾罩注塑模的冷却水道布置

(4) 改变浇口位置及形状,提高熔体温度,设置合适的喷嘴温度来减少翘曲。

(5) 脱模后将注塑件置于冷却水中速冷,可减少翘曲。

通过以上工艺措施的改进,重新进行翘曲分析。根据分析结果可以看出,尾罩的翘曲变形在1 mm以内,满足了外观要求和装配使用要求。该改进措

施在工厂实施后, 与模拟结果基本相同。

4 结论

利用 CAE 数值模拟技术, 结合注塑件材料的特性对其进行冷却、流动、翘曲分析, 找出了摩托车尾罩注塑件产生翘曲的原因, 为快速优化成型工艺参数、改进模具结构打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 李海梅, 顾元宪, 申长雨. 注塑件的翘曲变形分析与成形尺寸预测[J]. 中国机械工程, 2002, 13(10): 826-828.
- [2] 申长雨. 塑料模具计算机辅助工程[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.

- [3] Kwon T H. Mold cooling system design using boundary element method[J]. Journal of Engineering for Industry, 1998, 110: 384-394.
- [4] 龙述尧, 刘腾喜, 蔡松柏. 边界单元法的理论和工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 84-89.
- [5] 王小新, 刁军臣, 张明磊, 等. CAE 技术在电视机前壳气辅模具开发中的应用[J]. 模具工业, 2005(1): 34-37.
- [6] 崔树标, 周华民, 李德群. 基于表面模型的注射模冷却过程模拟[J]. 模具工业, 2005(5): 10-13.
- [7] Lewis R W, Morgan K, Thomas H R, et al. The finite element method in heat transfer analysis[M]. England: John Wiley & Sons, 1996: 23-91.

ANALYSIS OF WARPAGE OF MOTORCYCLE TAIL CUP AND OPTIMIZATION OF ITS PROCESSING

Chen Yuanfang, Xia Hua, Liu Chun, Li liuru

(Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

ABSTRACT The effects of temperature field and pressure field on residual stress and deformation of injection molded parts was studied by FEM. The computation of temperature field, pressure field in molding process and deformation based on thermoelastic theories were discussed mostly. The factors that affected motorcycle tail cup warpage, such as mould temperature were analyzed, and the cause of warpage and the improving measures for the injection product were also put forward.

KEYWORDS temperature field, FEM, residual stress, warping deformation

关于召开“2007 年中国工程塑料复合材料技术研讨会”并征集论文的通知

各有关单位:

根据中国工程塑料工业协会的工作计划, 中国工程塑料工业协会加工应用专委会与重庆国际复合材料有限公司合作, 将于 2007 年 7 月 21 日在云南昆明市召开“2007 年中国工程塑料复合材料技术研讨会”。会议期间将进行技术、学术和市场信息交流, 并出版《2007 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》。特向国内外从事工程塑料、复合材料研究、生产、加工、应用, 仪器、设备制造等工作的教授、专家、企业家、工程技术人员征集论文, 征集科研成果, 并诚邀大家踊跃参加会议。现将有关事项通知如下:

一、技术(学术)交流内容及征集论文

1. 技术(学术)交流主题: 工程塑料、复合材料的加工、应用与分析、测试。

2. 技术(学术)交流及讲座内容: (1) 改性塑料、复合材料的研制; (2) 工程塑料、复合材料性能及评价; (3) 塑料、复合材料分析测试新技术; (4) 塑料、复合材料成型加工新技术; (5) 塑料模具及设备设计制造新技术; (6) 塑料、复合材料应用新技术等。

3. 征文范围: 有关塑料、复合材料的合成、改性、增强、增韧、着色、配混、加工、应用、分析、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等方面的技术(学术)论文。

4. 征集论文截至 2007 年 5 月 31 日为止。论文打印排版格式请参照《工程塑料应用》杂志, 《论文集》中的优秀论

文将在《工程塑料应用》(中文核心期刊, 中国工程塑料工业协会会刊)上发表。应征论文请尽快寄至或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社。

二、征集科研成果

大会将在“研讨会”会场周边展示科研成果、技术转让项目, 并组织发布、洽谈和交易。请各单位将最新的科研成果项目名称和简介速发传真或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社。

三、征集《论文集》广告

大会将以优惠价格为各单位在《论文集》上刊登广告。广告价目为: 封二、前插 1、目次前页 1500 元/版, 封三 1350 元/版, 彩色插页 1200 元/版, 黑白插页 450 元/版。请各单位尽快与杂志社联系广告刊出事宜。

请您及时与我们联系, 我们将为您寄上正式会议通知。

联系人: 李桂珍 张锐 孙安垣

电话: 0531-85878057 85878278

传真: 0531-85947355 85878224

E-mail: 5947355@163.com epa@epa1973.com

通讯地址: 山东省济南市 108 信箱杂志社

邮编: 250031

网址: www.epa1973.com

中国工程塑料工业协会加工应用专委会
重庆国际复合材料有限公司