

聚碳酸酯半球吹塑成型有限元模拟与验证

张定国 张官理 郭新涛 颜悦

胡平

(北京航空材料研究院,北京 100095)

(大连理工大学,大连 116000)

摘要 利用吉林大学研制的车身与模具技术研究所开发的 KMAS 有限元模拟软件对 6 mm 厚的聚碳酸酯板材的半球吹塑成型过程进行数值模拟计算,同时通过成型试验所得数据与模拟结果进行对比发现,半球高度值吻合良好,其误差点出现在成型边缘固定区域;半球厚度主要误差出现在制件的顶部,最大误差达到 14.19%。同时对影响聚碳酸酯模拟成型精度的因素作了分析,指出提高模拟工作精度的主要方法。

关键词 有限元 吹塑成型 本构方程 聚碳酸酯

聚碳酸酯(PC)透明材料^[1]以其优异的力学、光学等性能被广泛地应用于航空、航天等重要领域。传统的 PC 透明材料结构件的成型工艺主要依靠“反复试验法”,该成型工艺不仅开发周期长、成本高,而且制件的质量不容易得到保证。

成型数值模拟计算^[2]为成型工艺提供了一种理性的手段,通过合理建立整个工艺过程的力学数学模型,将其通过计算机进行数值模拟,以代替实际的试验过程。它可以极大地缩短试验时间,降低试验成本,同时获得具有较高可信度的、对实际工艺过程有指导作用的数值解。

笔者利用 Systat Software Inc 公司的三维拟合软件 Tablecurve 3D 对 PC 在 163℃ 下的大量试验数据进行拟合,得到该温度下的真应力-真应变-真应变率的本构关系式。同时,结合 PC 的实际吹塑成型工艺,利用 KMAS 有限元模拟软件对 163℃ 下的半球吹塑实际成型工艺路线进行数值模拟,最后用试验数据进行验证。

1 模拟边界条件和本构方程

1.1 半球成型的工艺条件

将成型模具放入加热烘箱内整体加热,在成型温度 163℃、吹塑压力 0.065 MPa 下进行吹塑成型,保压时间为 2 min,最后保压冷却。成型示意图如图 1 所示。

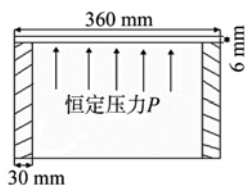


图 1 吹塑成型示意图

1.2 模拟所用材料参数与本构方程

原材料: PC, 密度 ρ 为 1.452 g/cm^3 , 对流换热

系数 h 为 $25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, 热导率 λ 为 $0.28 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 比热容 c 为 $1.52 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$ 。

通过中国科学院长春科新测试仪器研究所自主研发的 WDW 万能拉伸试验机,得出 PC 在 163℃ 下不同应变率时的真应力-真应变曲线。同时,利用 Systat Software Inc 公司的 Tablecurve 3D 软件拟合得到 PC 在 163℃ 下真应力-真应变-真应变率的关系为:

$$\sigma = a + b \ln \dot{\epsilon} + c \epsilon + d (\ln \dot{\epsilon})^2 + e \dot{\epsilon}^2 + f \ln \dot{\epsilon} + g (\ln \dot{\epsilon})^3 + h \dot{\epsilon}^3 + i \dot{\epsilon}^2 \ln \dot{\epsilon} + j \ln \dot{\epsilon}^2 \quad (1)$$

式中: σ ——真应力;

$\dot{\epsilon}$ ——真应变率;

ϵ ——真应变。

其中, $a = -2.5422489$, $b = -1.3773646$, $c = 12.206405$, $d = -0.24098662$, $e = -6.7046217$, $f = 2.5750146$, $g = -0.013810312$, $h = 2.7665679$, $i = -0.4962018$, $j = 0.14706919$ 。

把所得到的关系式与边界条件代入吉林大学的车身与模具技术研究所开发的 KMAS 有限元模拟软件中进行模拟计算,得到吹塑成型计算结果。

2 模拟结果

2.1 有限元网格的划分和模拟结果的取法

笔者采用 4 节点四边形等单元^[3]进行计算。同时,在计算结果的处理上取不同 Y 值的球壳,通过其法向厚度和圆弧高度与试验结果比较,验证其准确性。坯料初始网格图如图 2 所示。因为圆形坯料在胀形过程中的对称性,故圆弧的截取方法见图 3。

2.2 吹塑压力为 0.065 MPa 的模拟计算结果

笔者主要通过讨论图 3 中所截取的球壳的法向厚度内球壳内表面高度加以提取。图 4 为不同截面

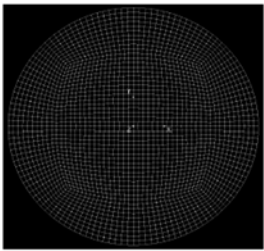


图2 坯料初始网格图

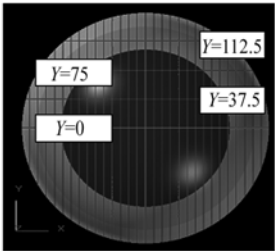


图3 截面线位置示意图

球壳高度的模拟结果。图 5 为不同球壳的法向厚度的模拟结果。由于在计算过程中材料被假设为各向同性材料,同时所受压力均匀,因此得到的高度与厚度分布结果对称性良好。

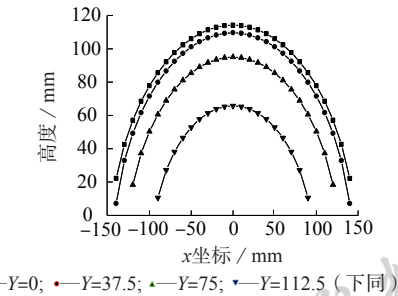


图4 不同坐标高度模拟结果

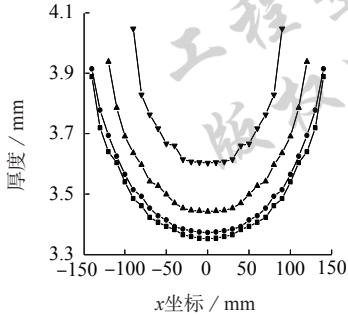


图5 不同坐标厚度模拟结果

由图 4 可知,制件的高度分布也完全满足大圆半径 150 mm、高度 114.290 mm 的球冠形状要求,顶部比较薄,底部比较厚。与初始坯料的半径 150 mm 相比,由于球冠的高度较小,它的厚度分布比较均匀,并且厚度值减薄量较小。由图 5 可知,厚度分布最薄的地方出现在制件最高顶点位置,为 3.353 mm。在 $Y=0$ 弧线上,最大厚度为 3.907 mm,最小厚度为 3.353 mm,相对于最大厚度,最薄处减薄幅度为 14.17%;在 $Y=37.5$ mm 弧线上,最大厚度为 3.948 mm,最小厚度为 3.407 mm,相对于最大厚度,最薄处减薄幅度为 13.70%;在 $Y=75$ 弧线上,最大厚度为 3.951 mm,最小厚度为 3.454 mm,相对最大厚度,最薄处减薄幅度为 12.57%;在 $Y=112.5$ mm 弧线上,最大厚度为 4.077 mm,最小厚度为

3.643 mm,相对于最大厚度,最薄处减薄幅度为 10.65%。

综上可知,厚度分布满足球冠坐标中 Y 值的绝对值越大,即越到制件的边缘,制件厚度越厚。但是厚度变化比较小,即制件厚度分布比较均匀。

3 试验验证

图 6 ~图 9 所示为不同坐标的模拟高度与试验结果的对比。从图 6 ~图 9 可看出,在模拟过程和试验过程的结果对比中,各个结果均为一个球冠形状,未出现其它特殊形状。可见计算中采用的各向同性假设正确。而模拟得到的高度结果与制件上各

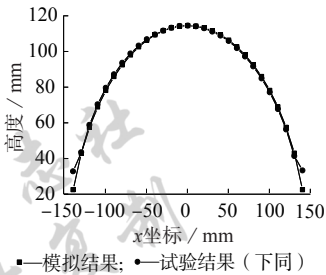


图6 $Y=0$ 模拟高度与试验结果对比

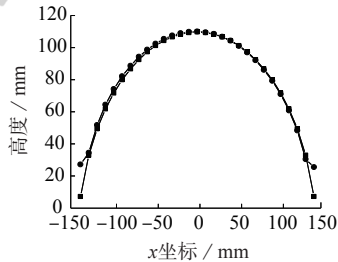


图7 $Y=37.5$ mm 模拟高度与试验结果对比

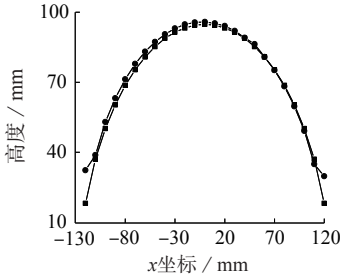


图8 $Y=75$ mm 模拟高度与试验结果对比

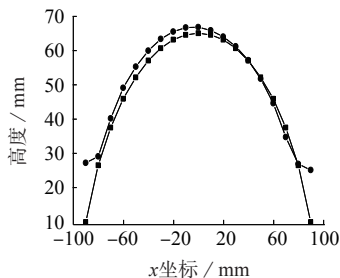


图9 $Y=112.5$ mm 模拟高度与试验结果对比

个点的高度基本相同,最大误差出现在制件的底部。

制件上厚度分布的均匀性则是制件质量好坏的重要参数^[4]。所以整个制件厚度的分布与模拟结果的对比结论则是考察模拟结果有效性的另一个重要指标。图10~图13所示为不同坐标的模拟厚度与试验结果的对比。

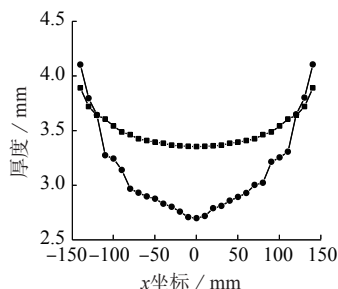


图10 $Y=0$ 模拟厚度与试验结果对比

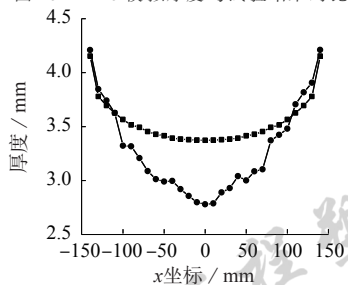


图11 $Y=37.5$ mm 模拟厚度与试验结果对比

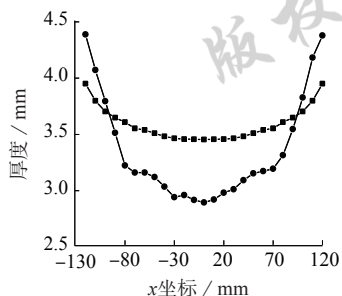


图12 $Y=75$ mm 模拟厚度与试验结果对比

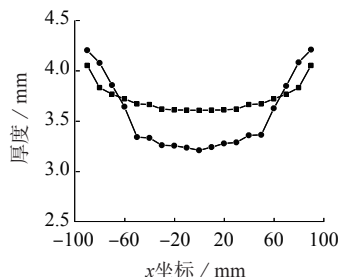


图13 $Y=112.5$ mm 模拟厚度与试验结果对比

如图10~图13所示,最大误差出现在 $Y=0$

处,模拟结果和试验结果相比,误差为14.19%; $Y=37.5$ mm处模拟结果与试验结果的误差为11.33%; $Y=75$ mm处模拟结果与试验结果的误差为9.79%; $Y=112.5$ mm处模拟结果与试验结果的误差为10.07%。试验制件最大厚度出现在制件底部,为3.678 mm;最薄厚度出现在制件的顶点,为2.877 mm,减薄幅度为21.78%。

由于模拟结果与试验结果的影响因素众多,试验结果和模拟结果还存在着一定的误差。这些误差主要是由以下两方面造成的:①材料力学关系式的误差。主要有试验方法误差和试验拟合误差。②有限元模拟计算误差。胀球试验中误差,这是由于成型边界条件与模拟边界条件的不一致性。由于有限元计算方法还不成熟,暂时对加热过程中的热变形与制件的冷却过程没有进行计算。

3 结论

(1) 验证试验和模拟计算外形均为一个比较规则的球冠形状,高度与厚度呈对称分布。同时成型制件满足顶点薄、底部厚的规律。而模拟结果与试验结果误差主要出现在制件边沿。

(2) 试验制件最大厚度出现在制件底部,为3.678 mm;最薄厚度出现在制件的顶点,为2.877 mm,减薄幅度为21.78%。

(3) 由验证试验结果与模拟结果对比可知,高度分布基本重合;厚度分布越到制件底部,模拟数据与试验制件数据重合程度越高,厚度分布相对误差最大点出现在制件的顶部,模拟厚度为3.353 mm,试验制件测量厚度为2.877 mm,最大误差为14.19%。

(4) 提高精度主要从拉伸本构的精确、模拟计算假设的合理化与胀球试验的进一步精确控制等方面提高。

参考文献

- [1] 李泽清. 塑料热成型[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] Owen D R J, Hinton E. Finite elements in plasticity: Theory and practice[M]. [S. l.]: Pineridge Press Limited, 1980: 97-99.
- [3] Kazutake K, Katsuhiko K. Simulation of deformation and temperature in multi-pass H-shape rolling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000(8): 67-68.
- [4] 杨慧香. 薄板冲压成型的有限元模拟[J]. 农业机械学报, 2003(6): 6-9.

THE FEM SIMULATION AND VERIFICATION OF PC HEMISPHERE BLOW MOULDING

Zhang Dingguo, Zhang Guanli, Guo Xintao, Yan Yue

Hu Ping

(Bei Jing Institute of Aeronautic Materials, Beijing 100095, China) (Da Lian University of Science and Technology, Dalian 116000, China)

ABSTRACT The FEM simulation software KMAS developed in the car-body & mould institute of Jilin University was used to simulate the process of hemisphere blow moulding of 6 mm PC, and the simulated results was compared with data obtained by traditional moulding experiments. The results proved that: the highness of hemisphere inosculates well, the main errors existed at the edge. The main error of thickness was at the crest of the parts, the maximal error was 14.19%. At the same time, the effects of facts on simulating moulding precision of PC was analysed, and the key method to enhance the precision of the simulation was pointed out.

KEYWORDS FEM, blow moulding, the essence formula, PC

巴斯夫新级别 PA 用于标致 308SW 汽车

将 BASF 的“聚酰胺树脂 A3WG10CR”包覆在“Sika Reinforcer 911NT/2”里面,用 2 个金属片安装在车体上,做成标志 308SW 的尾板铰链部分。

德国巴斯夫的耐热聚酰胺(PA)的新级别产品“聚酰胺树脂 A3WG10CR”首次被瑞士 Sika Automotive 采购。Sika 采购的产品将用于法国标致“308SW”的尾板强化材料。聚酰胺树脂 A3WG10CR 在 PA66 中添加了 50% 的玻璃纤维。可加固车体构造、吸收能量以及提高局部刚性。巴斯夫的 PA 被用作量产汽车的车体材料还是首次。

用于标致的树脂加强材料首先将“聚酰胺树脂 A3WG10CR”与 2 个金属片一起注射成型并形成支撑,然后用“Sika Reinforcer 911NT/2”包覆,以二色成型方式制造。该部件通过焊接工序临时固定于车体之后,车体被搬运到洗净槽和底色喷涂槽。经过干燥工序进行加热,Sika Reinforcer 起泡变硬,嵌入树脂部分的材料就会牢牢的固定在尾板内部。

“聚酰胺树脂 A3WG10CR”与原产品“A3WG10”相比,具有更高级别的能量吸收能力。在包括高温在内的广泛温度范围的具有高强度和高刚性,因此适用于能够承受动态负荷的部件。新等级产品应用方面,德国主要系统供应商大陆轮胎(Continental)的业务部门之一——Conti Tech Vibration Control 开发的全球首款树脂制马达扭矩杆的材料中也使用了聚酰胺树脂 A3WG10CR。(工塑网)

杜邦超快模制树脂性能优于玻纤增强塑料

德国 FRIEDRICHSHAFEN 模制师在使用新型超快杜邦 Crastin PBT 热塑性聚酯时可降低 PBT 达 30% 的循环时间。这种新型树脂 Crastin SF 以未增强和以 15% 或 30% 玻纤增强的几种形式向客户提供。

“Crastin F 可协助降低模制循环时间,从而可降低约 20% 的成本。”杜邦工程聚合物 Crastin 全球业务经理 Dave Donofrio 谈道,这种超快模制树脂极其适用于模制薄壁部件,如连接器以及类似于结构家居的大型部件。”

由这种新型树脂所提供的降低循环时间关键因素是它们优异的高流动性。例如,30% 玻纤 Crastin SF 产品的熔融粘度比 250℃ 下标准产品要低 43%,其典型模制工艺剪切速率为 1000 s^{-1} 。

Crastin SF 产品的高流动性为熔融温度的显著降低提供了新途径,从而在高压和冷却工艺中大幅度缩短循环时间。

除了缩短循环时间之外,Crastin SF 树脂的优异流动性可促进薄壁产品部件的设计和制造。对于大型部件而言,这可在材料消耗和部件件重上做出重大的变革。对于小型部件而言,它使小型部件设备具有更长更为精细的流动路径。Crastin SF 树脂的高流动性还在多孔模制使用工艺中为成本降低提供了新的可能性。(工塑网)

河北省枣强玻璃钢集团 SMC 高密度复合材料

沼气池填补国内空白

近日,河北省科技厅邀请农业部科学研究所、北京玻璃钢研究设计院、省新能源办公室等单位有关沼气、复合材料、能源等方面的 11 位专家,对河北省枣强玻璃钢集团有限公司承担的“SMC 高密度复合材料沼气池”项目进行了技术鉴定。

该项目通过对 SMC 高密度复合材料基料和添加改性剂、偶联剂的配方研究,提高了 SMC 高密度复合材料沼气池的物理、化学性能;采用上、下双半球拼装连接和凹凸槽式密封方式、背负式进出口料口、水压间一体化和双重出料结构,提高了沼气池承载能力和密封性能,出料操作方便;自主研制的局部可拆换镶拼式高温模压成型模具,结合冷模定型工装,保证了 SMC 高密度复合材料沼气池的成型质量稳定性,且具有多型号池体生产的适应性。

该项目开发的沼气池填补了国内空白,总体技术水平国际先进。通过项目的实施,解决了现沼气行业中广泛推广的混凝土沼气池存在的气密性能差、产气利用率低、建池时间长、维护工作量大等明显的缺陷,实现了产品的高性能、低成本,对于推动传统特色产业优化升级、改善生态环境、发展循环经济、推进社会主义新农村建设步伐具有重要的现实意义。(中化信)

佳能与东丽合作开发出世界级阻燃性塑料

美国纽约 LAKE SUCCESS 消息,佳能美国公司(Canon U.S.A., Inc.)宣布佳能公司与东丽公司(Toray Industries, Inc.)合成开发了一种可达到世界最高等级阻燃性的生物基塑料。这种生物基塑料含有超过 25% (质量比)的植物源组分,其将会应用于佳能即将于下一年推出的多功能办公系统的外围塑料部件。

佳能和东丽通过新材料设计和模制技术而开发了一种生物基塑料“Ecodear”,从而可改善材料特性。尤其是提高材料的阻燃性。Ecodear 是世界上第一种可用于多功能办公系统的生物基塑料,材料在 UL94 阻燃性测试标准中达到 5V 级。(中色网)